

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра електропостачання**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Науковий керівник кафедри

\_\_\_\_\_ С.П. Денисюк

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності** 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**спеціалізації** Енергетичний менеджмент та енергоефективність

**на тему: «Методи оцінювання та контролю ефективності  
використання електричної енергії на прикладі підприємства з  
виробництва алкогольних і безалкогольних напоїв»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ОН-61м

Остапчук Юлія Юріївна \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В. \_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д. \_\_\_\_\_

Рецензент:

Інститут електродинаміки НАН України,

к.т.н., доц. Парус Є.В. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**  
**Кафедра електропостачання**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективність»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Науковий керівник кафедри

\_\_\_\_\_ С.П. Денисюк

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

**Остапчук Юлії Юрївні**

1. Тема дисертації «Методи оцінювання та контролю ефективності використання електричної енергії на прикладі підприємства з виробництва алкогольних і безалкогольних напоїв»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В.

затверджені наказом по університету від «20» березня 2018 р. №971-с

2. Термін подання студентом дисертації «18» травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження солодовий цех підприємства з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв

4. Вихідні дані технічний звіт енергетичного обстеження (енергоаудиту) підприємства; дані обліку енергоресурсів; літературні джерела за темою дисертації

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- аналіз існуючих методів оцінювання та контролю обсягів споживання енергетичних ресурсів підприємством;
- аналіз статистичних методів і моделей прогнозування обсягів споживання електроенергії на підприємстві;
- аналіз факторів, що впливають на обсяги споживання електричної енергії;

- застосування та можливості удосконалення існуючих методів прогнозування енергоспоживання;
  - визначення найбільш прийняттого методу прогнозування;
  - розробка алгоритмів для контролю ефективності енерговикористання та прогнозування енергоспоживання.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу презентація
7. Орієнтовний перелік публікацій одна наукова стаття у науково-метричному фаховому виданні; три доповіді на міжнародних конференціях з публікацією тез
8. Консультанти розділів дисертації  
*Нормоконтроль* *ас. Прокопенко І.Д.*
9. Дата видачі завдання *12 березня 2018 року*

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих методів та підходів до оцінювання і контролю ефективності енергоспоживання		
2	Огляд методів прогнозування обсягів споживання електроенергії виробничими об'єктами		
3	Методи контролю ефективності споживання електроенергії		
4	Методика оцінювання та контролю встановленого рівня ефективності енергоспоживання солодового цеху		
5	Оцінювання і встановлення рівня енергоефективності з використанням базового рівня		
6	Розроблення стартап-проекту		

Студент

Ю.Ю. Остапчук

Науковий керівник дисертації

О.В. Бориченко

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська дисертація на тему: "Методи оцінювання та контролю ефективності використання електричної енергії на прикладі підприємства з виробництва алкогольних і безалкогольних напоїв" складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел та 2 додатків. Загальний обсяг роботи складає 128 сторінок основного тексту, в тому числі 23 рисунки, 27 таблиць, 52 бібліографічних найменувань за переліком посилань та 2 додатків.

**Актуальність теми.** Для покращення економічного стану та розвитку енергетичної системи України необхідним кроком є підвищення енергозбереження та енергоефективності. Необхідним є застосування науково обґрунтованих методів управління використання енергетичних ресурсів. На функціонування енергетичної системи суттєво впливає виробничий (промисловий) сектор, який є найбільшим споживачем електричної енергії.

Функції управління енерговикористанням на підприємстві виконуються впровадженою системою енергоменеджменту, яка включає в себе сукупність складових. Підсистема оперативного керування ефективністю використання електричної енергії являє собою сукупність систем контролю та планування енергоспоживання (системи КіП), відомі як Monitoring and Targeting Systems. На промислових підприємствах доцільно здійснювати оперативний контроль споживання електроенергії.

Вирішення задач енергозбереження потребує постійного контролю та оперативного управління на державному, регіональному та галузевому рівнях, оцінка рівня досягнутої енергоефективності на основі різних методів прогнозування споживання електроенергії та показників енергоефективності дозволить ефективно аналізувати та оцінювати стан енергозбереження конкретного об'єкту дослідження.

В даний час більшість підприємств застосовують методи експертних оцінок, тобто здійснення прогнозу працівником підприємства на основі простих

арифметичних операцій, що не може забезпечити високу точність прогнозу. Сучасні підходи до економічного та технічного управління, розвиток інформаційних технологій висувають більш жорсткі умови до точності вирішення задач прогнозування. Ефективним вирішенням даної задачі є створення математичної моделі прогнозування, яка адекватно описувала б досліджуваний процес.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконані в роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики НДР кафедри електропостачання НТУУ «КПІ».

**Метою магістерської дисертації** є розробка методів оцінювання та контролю ефективності енерговикористання на підприємстві з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання та контролю обсягів споживання енергетичних ресурсів підприємством;
- аналіз статистичних методів і моделей прогнозування обсягів споживання електроенергії на підприємстві;
- аналіз факторів, що впливають на обсяги споживання електричної енергії;
- застосування та можливості удосконалення існуючих методів прогнозування енергоспоживання;
- визначення найбільш прийнятного методу прогнозування;
- розробка алгоритмів для контролю ефективності енерговикористання та прогнозування енергоспоживання.

**Об'єктом дослідження** є процес аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

**Предметом дослідження** є методи та підходи до аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

**Методи дослідження.** В роботі використовувались теоретичні методи та експериментальні дослідження, які полягають в проведенні наукового аналізу тенденції зміни обсягів споживання електроенергії в залежності від зміни факторів впливу, методи математичної статистики та статистичні вибірки. Методичною основою дисертаційного дослідження є методи прогнозування споживання електроенергії, а саме: регресійний аналіз та метод головних компонент.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному: із врахуванням загальних тенденцій зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів розроблено математичну модель базового рівня енергоспоживання для карусельної сушарки солодового цеху, яка на відміну від класичного методу регресійного аналізу ґрунтується на застосуванні методу головних компонент. Результати аналізу застосування цих двох методів дали змогу оцінити, що математична модель базового рівня енергоспоживання для карусельної сушарки солодового цеху більш точна у випадку її побудови за методом головних компонент, ніж за регресійним аналізом. Також більш доцільно застосовувати метод головних компонент для визначення найбільш значущих чинників, які впливають на обсяги споживання електроенергії карусельної сушарки при встановленні її базового рівня.

**Практичне значення роботи.** Розроблена математична модель обсягів споживання електроенергії на підприємстві на основі методу головних компонент дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві.

Отримані результати дозволять удосконалити методику встановлення базового рівня енергоспоживання при впровадженні системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах згідно чинного стандарту ISO 50001.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено у ТОВ «УКРЕНЕРГОЕФЕКТ», м. Київ.

**Апробація результатів роботи.** Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

- IV Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS'17" "МЕНЕДЖМЕНТ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ" від 27.04.2017 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

- V Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS'18" "МЕНЕДЖМЕНТ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ" від 19.04.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

- X Міжнародна науково-технічна конференція "ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА" від 27.04.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

**Публікації.** За результатами досліджень було опубліковано:

- Бориченко О. В. Застосування методу головних компонент для оцінювання рівня енергоефективності / О. В. Бориченко, А. В. Чернявський, Ю. Ю. Остапчук // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ» *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ» – 2018. – № 44 (1214). – С. xx-xx. – doi:10.20998/2413-4295.2018.12.01.

Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось наступне програмне забезпечення: STATISTICA; MS Excel.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** метод головних компонент, регресійний аналіз, енергетична ефективність, споживання електроенергії, енергозбереження, базовий рівень енергоспоживання.

## ABSTRACT

**Structure and scope of work.** Master's dissertation on the topic: "Methods of evaluation and control of the efficiency of electric energy use for example, an enterprise producing alcoholic and non-alcoholic beverages" consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of sources used and 2 supplement. The total volume of work consists of 128 pages of the main text, including 23 drawings, 27 tables, 52 bibliographic titles in the list of references and 2 add-on.

**Actuality of theme.** To improve the economic situation and the development of the energy system of Ukraine, an important step is to increase energy efficiency and energy efficiency. Necessary is the use of scientifically grounded methods of management of the use of energy resources. The functioning of the energy system is significantly influenced by the industrial (industrial) sector, which is the largest consumer of electric energy.

The functions of management of energy use in the enterprise are carried out by the implemented system of energy management, which includes a set of components. The subsystem of operational management of electric energy efficiency is a set of energy control and planning systems (CIP systems), known as Monitoring and Targeting Systems. At industrial enterprises it is expedient to carry out operational control of electricity consumption.

Solving energy-saving problems requires constant monitoring and operational management at the state, regional and sectoral levels, assessing the level of achieved energy efficiency based on different methods of forecasting electricity consumption and energy efficiency indicators will allow to effectively analyze and assess the state of energy saving of a specific research object.

At present, most enterprises apply expert estimation methods, that is, the implementation of a forecast by the employee of the company on the basis of simple arithmetic operations, which can not provide high accuracy of the forecast. Modern approaches to economic and technical management, the development of information technology put forward more stringent conditions for the accuracy of solving prediction



problems. An effective solution to this problem is to create a mathematical model of prediction that adequately describes the investigated process.

**Relationship of work with scientific programs, plans, themes.** The research carried out in the work corresponds to the direction "Energy and Energy Efficiency" of the Law of Ukraine No. 2519-VI of 09.09.2010 "On Priority Areas of Science and Technology Development", Strategic Priority Areas of Innovation Activities in Ukraine for 2003-2013 "Innovative Resource Saving Technologies" Law of Ukraine No. 433-IV of 16.01.2003 «On Priority Areas of Innovation Activity in Ukraine», Integrated Program of NTUU «KPI», «Energy of Sustainable Development» and directions of research topics of the Department of Electrical Supply of NTUU «KPI».

**The purpose of the master's thesis** is to develop methods for evaluating and controlling the efficiency of energy use at the enterprise for the production of alcoholic and non-alcoholic beverages.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- analysis of existing methods for estimating and controlling the volume of energy consumption by the enterprise;
- analysis of statistical methods and models of forecasting of electricity consumption volumes at the enterprise;
- analysis of factors influencing the consumption of electric energy;
- application and possibilities of improvement of existing methods of forecasting of energy consumption;
- determining the most appropriate method of forecasting;
- development of algorithms for controlling the efficiency of energy use and forecasting of energy consumption.

**The object of the research** is the process of analysis, evaluation and control of the volume of electricity consumption at the enterprise.

**The subject of the study** is the methods and approaches for the analysis, evaluation and control of the volume of electricity consumption at the enterprise.

**Research methods.** Theoretical methods and experimental researches were used in the work, which consist in carrying out a scientific analysis of the trend of changing the volume of electricity consumption depending on the change of factors of influence, methods of mathematical statistics and statistical samples. Methodical basis of the dissertation research are methods of forecasting of electric energy consumption, namely: regression analysis and method of main components.

**The scientific novelty of the obtained results** is as follows: taking into account the general tendencies in changing the volumes of energy consumption, a mathematical model of the basic energy consumption level for the round-bottom dryer of the malt shop is developed, which, unlike the classical regression analysis method, is based on the application of the method of the main components. The results of the analysis of the application of these two methods made it possible to estimate that the mathematical model of the basic energy consumption level for the roundwood dryer of the malt shop is more accurate in the case of its construction by the method of the main components than by the regression analysis. It is also more expedient to apply the main component method to determine the most significant factors that influence the amount of electric power consumption of a carousel dryer when setting its base level.

**Practical value of work.** The developed mathematical model of the volume of electricity consumption at the enterprise on the basis of the main components method allows to estimate the level of achieved energy efficiency at the enterprise and to obtain information on forecasting of the further consumption of electric energy at the industrial enterprise.

The obtained results will allow to improve the methodology for establishing the basic level of energy consumption when implementing the system of energy management at industrial enterprises in accordance with the current ISO 50001 standard. The results obtained in the dissertation work were implemented at "UKRENERGOEFEKT Ltd.", Kyiv.

**Approval of the results of work.** The results of the master's thesis were made public:

- IV International scientific-technical and teaching-methodical conference "Energy management: the state and prospects of development - PEMS'17" "MANAGEMENT OF ENERGY" from 27.04.2017, Institute of energy saving and energy management, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ".

- V International scientific-technical and teaching-methodical conference "Energy management: the state and prospects of development - PEMS'18" "MANAGEMENT OF ENERGY-USAGE" dated April 19, 2018, Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute ".

- X International scientific and technical conference "ENERGY. ECOLOGY. HUMAN" dated April 27, 2018, Institute of Energy Saving and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

**Publications.** The results of the research were published by:

- **Borychenko O., Cherniavskyi A., Ostapchyuk Y.** Application of principal components method for evaluation of energy efficiency level. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **42 (1214), xx–xx**, doi:10.20998/2413-4295.2018.12.01.

To perform calculations in section 3 of the master's thesis the following software was used: STATISTICA; MS Excel.

**KEY WORDS:** principal component analysis, regression analysis, energy efficiency, electricity consumption, energy saving, basic energy consumption.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ І КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ .	19
1.1 Існуючі методи та підходи до оцінювання контролю ефективності споживання енергії.....	19
1.1.1 Оцінювання ефективності споживання електроенергії на основі показників типу ККД та її питомих витрат .....	19
1.1.2 Контроль ефективності споживання електроенергії на основі нормування її питомих витрат.....	21
1.1.3 Оперативний контроль ефективності споживання електроенергії на основі побудови систем контролю і планування електроспоживання.....	24
1.2 Оцінювання ефективності споживання енергії на основі побудови систем контролю і планування .....	26
1.2.1 Побудова та функціонування систем контролю і планування електроспоживання.....	26
1.2.2 Недоліки традиційної методики побудови та функціонування систем контролю і планування електроспоживання .....	30
1.3 Оцінювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базового рівня енергоспоживання та показників енергетичної ефективності ...	34
Висновки до розділу 1 .....	43
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	45
2.1 Огляд методів прогнозування обсягів споживання електроенергії виробничими об'єктами .....	45
2.2 Основні методи прогнозування часових рядів .....	47
2.2.1 Прогнозна екстраполяція .....	47
2.2.1.1 Метод найменших квадратів .....	48

2.2.1.2	Метод експоненціального згладжування .....	49
2.2.1.3	Метод імовірнісного моделювання .....	49
2.2.2	Інтуїтивні (експертні) методи прогнозування .....	50
2.2.3	Регресійний аналіз, моделі ARIMA.....	51
2.2.4	Адаптивні методи прогнозування .....	56
2.2.5	Штучні нейронні мережі.....	60
2.2.6	Метод головних компонент .....	64
2.3	ZP-аналіз .....	65
2.4	Методи контролю ефективності споживання електричної енергії.....	67
2.4.1	Контроль енергоефективності із застосуванням графіка кумулятивної суми.....	67
2.4.2	Контроль енергоефективності із застосуванням графіка кумулятивної суми та кута V-маски .....	71
	Висновок до розділу 2.....	75
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ		
ВСТАНОВЛЕНОГО РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ		
СОЛОДОВОГО ЦЕХУ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА		
АЛКОГОЛЬНИХ ТА БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ.....		
3.1	Енергетичний аналіз даних для оцінювання рівня енергоспоживання .....	76
3.2	Оцінювання і встановлення рівня енергоефективності з використанням базового рівня.....	79
3.2.1	Критерії створення математичної моделі .....	79
3.2.2	Підготовка вихідних даних для аналізу .....	82
3.2.3	Модель на основі регресійного аналізу .....	84
3.2.4	Модель на основі методу головних компонент .....	92
3.2.5	Оцінка точності побудованих математичних моделей .....	101
3.3	Процедура контролю ефективності встановленого рівня ефективності енергоспоживання.....	103
	Висновки до розділу 3 .....	107

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	109
4.1 Етапи розроблення стартап-проекту .....	109
4.2 Опис ідеї проекту та визначення загального напрямку використання .....	110
4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проекту .....	112
4.4 Розробка стратегії ринкового впровадження проекту.....	119
Висновки до розділу 4 .....	121
ВИСНОВКИ .....	122
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	123
ДОДАТОК А .....	129
ДОДАТОК Б.....	150

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Для покращення економічного стану та розвитку енергетичної системи України необхідним кроком є підвищення енергозбереження та енергоефективності. Необхідним є застосування науково обґрунтованих методів управління використання енергетичних ресурсів. На функціонування енергетичної системи суттєво впливає виробничий (промисловий) сектор, який є найбільшим споживачем електричної енергії.

Функції управління енерговикористанням на підприємстві виконуються впровадженою системою енергоменеджменту, яка включає в себе сукупність складових. Підсистема оперативного керування ефективністю використання електричної енергії являє собою сукупність систем контролю та планування енергоспоживання (системи КіП), відомі як Monitoring and Targeting Systems. На промислових підприємствах доцільно здійснювати оперативний контроль споживання електроенергії.

Вирішення задач енергозбереження потребує постійного контролю та оперативного управління на державному, регіональному та галузевому рівнях, оцінка рівня досягнутої енергоефективності на основі різних методів прогнозування споживання електроенергії та показників енергоефективності дозволить ефективно аналізувати та оцінювати стан енергозбереження конкретного об'єкту дослідження.

В даний час більшість підприємств застосовують методи експертних оцінок, тобто здійснення прогнозу працівником підприємства на основі простих арифметичних операцій, що не може забезпечити високу точність прогнозу. Сучасні підходи до економічного та технічного управління, розвиток інформаційних технологій висувають більш жорсткі умови до точності вирішення задач прогнозування. Ефективним вирішенням даної задачі є створення математичної моделі прогнозування, яка адекватно описувала б досліджуваний процес.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконані в роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність»

Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики НДР кафедри електропостачання НТУУ «КПІ».

**Метою магістерської дисертації** є розробка методів оцінювання та контролю ефективності енерговикористання на підприємстві з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів оцінювання та контролю обсягів споживання енергетичних ресурсів підприємством;
- аналіз статистичних методів і моделей прогнозування обсягів споживання електроенергії на підприємстві;
- аналіз факторів, що впливають на обсяги споживання електричної енергії;
- застосування та можливості удосконалення існуючих методів прогнозування енергоспоживання;
- визначення найбільш прийнятного методу прогнозування;
- розробка алгоритмів для контролю ефективності енерговикористання та прогнозування енергоспоживання.

**Об'єктом дослідження** є процес аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

**Предметом дослідження** є методи та підходи до аналізування, оцінювання та контролю обсягів споживання електричної енергії на підприємстві.

#### **Методи дослідження.**

В роботі використовувались теоретичні методи та експериментальні дослідження, які полягають в проведенні наукового аналізу тенденції зміни обсягів



споживання електроенергії в залежності від зміни факторів впливу, методи математичної статистики та статистичні вибірки. Методичною основою дисертаційного дослідження є методи прогнозування споживання електроенергії, а саме: регресійний аналіз та метод головних компонент.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному: із врахуванням загальних тенденцій зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів розроблено математичну модель базового рівня енергоспоживання для карусельної сушарки солодового цеху, яка на відміну від класичного методу регресійного аналізу ґрунтується на застосуванні методу головних компонент. Результати аналізу застосування цих двох методів дали змогу оцінити, що математична модель базового рівня енергоспоживання для карусельної сушарки солодового цеху більш точна у випадку її побудови за методом головних компонент, ніж за регресійним аналізом. Також більш доцільно застосовувати метод головних компонент для визначення найбільш значущих чинників, які впливають на обсяги споживання електроенергії карусельної сушарки при встановленні її базового рівня.

**Практичне значення роботи.** Розроблена математична модель обсягів споживання електроенергії на підприємстві на основі методу головних компонент дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо прогнозування подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві.

Отримані результати дозволять удосконалити методику встановлення базового рівня енергоспоживання при впровадженні системи енергетичного менеджменту на промислових підприємствах згідно чинного стандарту ISO 50001. Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено у ТОВ «УКРЕНЕРГОЕФЕКТ», м. Київ.

**Апробація результатів роботи.** Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

- IV Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - PEMS'17"

"МЕНЕДЖМЕНТ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ" від 27.04.2017 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

- V Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS'18" "МЕНЕДЖМЕНТ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ" від 19.04.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

- X Міжнародна науково-технічна конференція "ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА" від 27.04.2018 р., Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

**Публікації.** За результатами досліджень було опубліковано:

- Бориченко О. В. Застосування методу головних компонент для оцінювання рівня енергоефективності / О. В. Бориченко, А. В. Чернявський, Ю. Ю. Остапчук // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ» *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ» – 2018. – № 44 (1214). – С. xx-xx. – doi:10.20998/2413-4295.2018.12.01.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ І КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ**

### **1.1 Існуючі методи та підходи до оцінювання контролю ефективності споживання енергії**

#### **1.1.1 Оцінювання ефективності споживання електроенергії на основі показників типу ККД та її питомих витрат**

Практичне вирішення завдання енергозбереження виробничим об'єктом потребує відповіді на питання: на скільки ефективно використовується електроенергія. Відповідь на це питання ґрунтується на визначенні певних кількісних показників. Найбільш відомими та поширеними є показники типу ККД. Спочатку їх застосовували у термодинаміці для оцінювання енергетичної ефективності різних теплових машин, для яких однозначно можна визначити як підведену, так і корисну енергію. Також цей простий та інформативний коефіцієнт використовується для оцінювання енергетичної ефективності таких енергетичних об'єктів, як парогенератори, парові та газові турбіни, електричні станції різних типів і призначення, тощо. Але для таких об'єктів розрахунки ККД ускладнені потребою врахування різних видів енергії [13].

Фіксовані значення ККД найчастіше використовують для характеристики машин, агрегатів, установок та оцінки режимів їх роботи. При цьому значення ККД повинні відповідати конкретним оптимальним умовам роботи об'єктів. Внаслідок зміни умов роботи в технологічному процесі, значення цих показників можуть істотно відрізнятися від оптимальних, що залежить від коливання навантаження, погіршення технічного стану агрегату тощо.

Абсолютні значення ККД характеризують певний досягнутий рівень ефективності енерговикористання в агрегаті або процесі, але самі по собі не дозволяють визначити ефективність використання ПЕР, вони не дають уявлення про

те, наскільки високий цей рівень ефективності і чи можливо надалі його підвищувати. Для цього ККД необхідно порівняти з деяким «еталонним» значенням.

В інженерній практиці як еталон енергетичної ефективності різних процесів використовують деякі ідеалізовані аналоги. Ступінь енергетичної досконалості реальних об'єктів визначається відносним значенням ККД, яке розраховується діленням реального ККД на ідеальне його значення для відповідного агрегату.

Показники типу ККД є універсальними показниками ефективності енерговикористання та досить простими і зручними у використанні. Але спроби застосувати їх для оцінювання енергоефективності технологічних процесів, установок та агрегатів різного призначення, як правило, не були вдалими, оскільки для технологічних об'єктів втрачає сенс співвідношення корисної та підведеної енергії, тому що кінцевим продуктом для них є продукція різних видів і призначення, а не енергія чи робота. Для таких агрегатів та процесів дуже складно або неможливо визначити корисну енергію чи виразити обсяг випущеної продукції в одиницях енергії. При визначенні ККД технологічних агрегатів та процесів пропонується використовувати мінімально необхідні витрати енергії замість корисної енергії [13].

В реальних умовах ефективність використання електроенергії для господарських або технологічних об'єктів оцінюють за показниками її питомої витрати. Показники питомої витрати електроенергії за своїм змістом є свого роду величинами, оберненими до ККД. Для будь-якого господарського чи технологічного об'єкту можна вимірювати й обліковувати «вхідні» і «вихідні» величини, такі як: підведена потужність або енергія; обсяг випущеної продукції чи виконаної роботи або продуктивність обладнання.

Показники питомої витрати паливно-енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії, визначаються простіше, ніж показники ефективності енерговикористання типу ККД, оскільки складові для розрахунку її питомої витрати, як правило, приймаються за даними обліку споживання електроенергії і виробництва продукції (виконання роботи) на відповідному об'єкті. Досить часто

виконують вимірювання обсягів виробництва продукції у вартісному вираженні, що робить показники питомої витрати електричної енергії недостатньо об'єктивними та нестабільними.

Таким чином, як і показники типу ККД, показники питомої витрати електричної енергії самі по собі не можуть дати будь-якого уявлення про рівень ефективності використання електроенергії на тому чи іншому об'єкті. Для цього потрібен деякий додатковий показник, своєрідний «еталон», з яким можна було б порівнювати фактичну питому витрату електроенергії. Однак, на відміну від ККД, показники питомої витрати не мають навіть ідеального значення, з яким їх можна було б порівнювати. Тому для оцінювання та аналізу ефективності використання електроенергії, крім фактичних питомих її витрат, необхідно визначати ще один показник – норми питомої витрати електроенергії.

### **1.1.2 Контроль ефективності споживання електроенергії на основі нормування її питомих витрат**

Одним з підходів до контролю ефективності використання електричної енергії є нормування її питомих витрат. Процес встановлення таких норм є досить складним.

У праці [14] запропоновано класифікацію норм питомих витрат електроенергії, розроблено методику нормування споживання електроенергії, яка ґрунтується на використанні енергетичних характеристик агрегатів, а також представлено визначення головних елементів системи нормування споживання електричної енергії.

Основними методами нормування питомих витрат ПЕР визначено розрахунково-аналітичний, експериментальний (дослідний) та комбінований методи. Використання будь-яких інших методів для нормування споживання електричної енергії, згідно чинних в Україні нормативних документів [11, 12], є

припустимим лише як виняток у випадку, якщо неможливо застосувати основні методи.

Норми питомої витрати електроенергії для окремих агрегатів або технологічних процесів з прийнятною достовірністю можна встановлювати з використанням основних методів. Для виробничо-господарських об'єктів (груп різних споживачів електроенергії) застосування розрахунково-аналітичного, експериментального або комбінованого методів є досить складним.

В розрахунково-аналітичному методі нормування електроспоживання корисна складова витрати електричної енергії і її втрати за всіма напрямками визначаються на підставі фізико-хімічних і емпіричних залежностей. Для більшої точності результатів окремі елементи втрат визначають експериментальним шляхом за допомогою приладів обліку. Конкретні умови експлуатації того або іншого агрегату враховують через введення у розрахунок численних поправочних коефіцієнтів.

В експериментальному (дослідному) методі передбачається визначення питомих витрат електричної енергії для окремих агрегатів та технологічних процесів на основі їх електричних балансів та енергетичних характеристик, які в процесі спеціальних випробувань обладнання отримують експериментальним шляхом. Такі випробування виконують окремо для кожної одиниці обладнання чи технологічного процесу при кількох фіксованих значеннях їх продуктивності, а також у прогресивних умовах експлуатації. За допомогою спеціальних лабораторних приладів реєструють параметри основного та відгалужених енергетичних потоків. Практичне застосування цього методу на виробничо-господарських об'єктах суттєво обмежене через необхідність одночасного використання значної кількості вимірювальних приладів та залучення великої кількості відповідних кваліфікованих спеціалістів.

Комбінований метод нормування споживання електроенергії є комбінацією розрахунково-аналітичного та експериментального методів нормування споживання електричної енергії. Для використання комбінованого методу корисну складову

витрати електричної енергії зазвичай визначають розрахунковим шляхом, а втрати енергії – розрахунковим та експериментальним методами.

Таким чином, норми питомих витрат електричної енергії, які встановлюються з використанням основних методів, не завжди відповідають конкретним технологічним параметрам операцій, зовнішнім умовам, технічному стану устаткування і якості його експлуатаційного обслуговування. Тому застосування таких норм здебільшого не дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності використання електроенергії у виробництві.

В зазначених умовах більш доцільно застосовувати розрахунково-статистичний метод нормування питомих витрат. Класичний розрахунково-статистичний метод базується на аналізі фактичних даних, які відображають наявні, а не прогресивні умови виробництва, тому його не можна вважати придатним для встановлення технічно та економічно обґрунтованих норм питомих витрат електроенергії.

Електроспоживання виробничо-господарських об'єктів та будь-яких окремих агрегатів є складним і динамічним процесом, на який впливає багато чинників, серед яких і такі, що змінюються випадково. Отже, споживання електричної енергії варто розглядати як випадкові процеси, що вимагає використання імовірнісного підходу також і до нормування її витрат.

Встановлення норм питомих витрат електроенергії на базі статистичного аналізу фактичних питомих витрат електричної енергії агрегату, зафіксованих протягом довгострокового періоду, запропоновано в працях [15, 16]. Результатом такого аналізу визначено імовірність того, що відхилення фактичних питомих витрат електричної енергії від встановлених норм не перевищить деякої заданої величини, тобто для фактичних значень питомих витрат електроенергії будувався певний довірчий інтервал.

Під час оброблення експериментальних і статистичних даних про електроспоживання різних промислових об'єктів у працях [19, 20] запропоновано використовувати методи кореляційного і дисперсійного аналізу.

В працях [17, 18] автором пропонується встановлювати норми питомих витрат електроенергії експериментальним шляхом з наступним оцінюванням достовірності отриманих результатів за допомогою статистичного критерію Стьюдента.

У багатьох роботах пропонується здійснювати нормування витрат електроенергії на основі математичного моделювання процесів її споживання, у тому числі і шляхом побудови багатofакторних регресійних моделей [21, 22].

У працях багатьох вчених обґрунтовано доцільність і можливість застосування ймовірісно-статистичних методів для оцінювання та контролю ефективності використання електроенергії у виробництві. Зокрема, у працях [23, 24] пропонується оцінювати ефективність електровикористання через порівняння фактичних витрат електроенергії на однорідних за виробничим призначенням об'єктах, які працюють у подібних виробничих умовах.

Таким чином, ймовірісно-статистичний підхід до розгляду процесів споживання електроенергії може бути успішно застосований для оцінювання та контролю ефективності її використання на різних виробничо-господарських об'єктах.

### **1.1.3 Оперативний контроль ефективності споживання електроенергії на основі побудови систем контролю і планування електроспоживання**

Останнім часом у Західній Європі для управління ефективністю використання електричної енергії активно використовують підхід, принципово відмінний від системи нормування питомих витрат електроенергії – побудову систем контролю і планування (КіП), відомих під назвою Monitoring and Targeting Systems [25, 26]. Такі системи створюються для невеликих (локальних) об'єктів – окремих установок, агрегатів, технологічних процесів, невеликих підрозділів підприємства. Вони дозволяють контролювати енергоефективність безпосередньо за величиною абсолютного (а не питомого) споживання електроенергії, а «стандартом» ефективного використання електричної енергії при цьому є математична модель



обсягу її витрат на об'єкті, побудована залежно від факторів, що характеризують умови протікання виробничого процесу.

Процес створення і функціонування системи КіП можна умовно розділити на два етапи. Перший з них – збір статистичних даних, який включає оцінювання та загальний аналіз стану енергогосподарства об'єкта, виявлення основних закономірностей зміни величини споживання електроенергії. Окремою проблемою тут є відбір технологічних та інших факторів, за якими визначають обсяги споживання електроенергії, адже лише повний, цілісний їх склад дасть змогу отримати достатньо об'єктивну інформацію про особливості електроспоживання на об'єкті. Цей етап може бути досить тривалим, оскільки, крім обстеження обладнання, відбору факторів, включає збір статистичних даних (величини споживання електричної енергії, значення відібраних параметрів та ін.).

У практиці зарубіжних країн оперативний контроль ефективності використання електроенергії в системах КіП, як правило, здійснюється щотижнево. Тому збір вихідних даних для побудови такої системи на будь-якому об'єкті триває щонайменше 5–10 тижнів [26].

Пришвидшенню реалізації цього етапу впровадження системи КіП суттєво може сприяти достатня кількість засобів обліку на об'єкті: лічильників електричної енергії, датчиків контролю основних кількісних показників технологічного процесу тощо. Це дозволяє заощадити кошти та час на встановлення додаткових приладів для контролю необхідних параметрів. Тривалість і трудомісткість цього етапу значною мірою залежать від наявності та обсягу статистичних даних, що фіксувалися та зберігалися відповідними службами на об'єкті до впровадження системи КіП. Ці дані, якщо такі є, можуть бути використані як передісторія для побудови математичної моделі «стандарту» споживання електроенергії для об'єкта.

Другим етапом є власне побудова математичної моделі «стандарту» електроспоживання та періодичний контроль його виконання. Теорія математичної статистики та математичного моделювання дають змогу обирати достатньо сучасні методи та підходи до вирішення цього завдання. Однак практика показує, що при

встановленні «стандартів» енергоспоживання перевага надається переважно регресійним методам побудови математичних моделей споживання, зокрема електроенергії [25 - 27].

Подальша робота системи КіП після встановлення «стандарту» електроспоживання полягає у періодичному його контролі та внесенні в разі потреби коректив у роботу відповідного обладнання. Якщо зафіксовані в процесі контролю фактичні обсяги споживання електроенергії нижчі від «стандартних», то це свідчить про ефективне використання енергії. Якщо ж спостерігається перевищення «стандарту», то це свідчить про неефективне електровикористання, що потребує додаткового аналізу та усунення його причини.

Як показує зарубіжна практика, системи КіП енергоспоживання являють собою достатньо простий, але дієвий спосіб оперативного контролю ефективності використання електричної енергії на локальних виробничих об'єктах.

## **1.2 Оцінювання ефективності споживання енергії на основі побудови систем контролю і планування**

### **1.2.1 Побудова та функціонування систем контролю і планування електроспоживання**

Останні кілька десятиріч у Західній Європі для вирішення завдань управління ефективністю використання електричної енергії активно використовують підхід, принципово відмінний від системи нормування питомих витрат електроенергії, – побудову систем контролю і планування (КіП) електроспоживання, відомих під назвою Monitoring and Targeting Systems [25, 28].

Традиційні системи КіП виконують наступні функції:

- 1) аналіз поточного рівня ефективності використання електричної енергії та стану обладнання, яке споживає електроенергію;
- 2) оперативне керування та прогноз майбутніх рівнів споживання електроенергії;

3) нормалізація споживання електричної енергії за рахунок встановлення «стандартів» витрат та контролю їх виконання.

В основу побудови систем КіП покладено принцип залежності обсягів споживання електроенергії від ряду показників, що характеризують умови протікання виробничого процесу (наприклад, обсягу випущеної продукції, часу роботи основного обладнання, тиску, температури, швидкості, параметрів кліматичних умов тощо) [25, 26].

У традиційних системах КіП «стандарти» електроспоживання можуть бути встановлені у вигляді:

- константи:  $W_{\text{ст}} = \text{const}$  ;
- однофакторного лінійного рівняння регресії:  $W_{\text{ст}} = c_0 + c_1 X$  ;
- багатфакторного лінійного рівняння регресії:  $W_{\text{ст}} = c_0 + c_1 X_1 + \dots + c_n X_n$  ;
- однофакторного або багатфакторного нелінійного рівняння регресії.

В загальному випадку «стандарт» енергоспоживання в системах КіП являє собою деяку математичну модель обсягу споживання палива чи енергії залежно від чинників, які найбільш суттєво впливають на величину їх витрати на об'єкті [26].

Як свідчить досвід зарубіжних країн, при побудові традиційних систем КіП «стандарти» споживання електроенергії встановлюють перших трьох наведених вище типів.

Очевидно, що «стандарт» електроспоживання може бути встановлений лише у вигляді константи, якщо жоден з наявних виробничих і технологічних параметрів не здійснює суттєвий вплив на витрати електроенергії на об'єкті. За умови суттєвого впливу одного чи декількох чинників на споживання електроенергії, «стандарт» електроспоживання, зазвичай, встановлюється у вигляді рівняння однофакторної чи багатфакторної лінійної регресії. При цьому в традиційних методиках побудови систем КіП при встановленні «стандартів» не рекомендується використовувати більше трьох чинників, які суттєво впливають на споживання електроенергії об'єктом [28, 26].

Методика побудови відповідних рівнянь регресії, яка використовується в зарубіжній практиці, базується на застосуванні методу найменших квадратів (методу Гауса), а також інших методів регресійного аналізу.

Встановлений тим чи іншим способом «стандарт» електроспоживання в системах КіП являє собою деяку «норму» абсолютної, а не питомої її витрати. Така «норма» не є «ідеальною», тобто мінімально необхідною величиною для об'єкта, як норма питомої витрати електричної енергії в традиційному її розумінні. Однак «стандарт» споживання електроенергії являє собою досить обґрунтовану величину, оскільки повною мірою відповідає об'єкту та конкретним умовам його функціонування. Тобто «стандарт» споживання електричної енергії відображає рівень ефективності використання електроенергії, реально досягнутий на об'єкті.

«Стандарт» електроспоживання в системі КіП являє собою деяку математичну модель витрати електричної енергії – своєрідну «енергетичну характеристику» об'єкта, для якого встановлений «стандарт» на відміну від розрахунку норм питомих витрат електричної енергії, де він встановлюється у вигляді конкретного числового значення. Таким чином, «стандарт» споживання електричної енергії не лише обґрунтована «норма» споживання електроенергії на об'єкті, а також є досить гнучким «еталоном» її ефективного використання, що враховує зміни обсягів продукції, параметрів технологічного процесу, а також зовнішніх (в тому числі, і кліматичних) умов виробництва.

Побудова системи КіП на об'єкті вважається закінченою і готовою до використання для здійснення оперативного контролю ефективності використання електроенергії на об'єкті, після того як «стандарт» електроспоживання встановлено в аналітичному та графічному (за можливості) вигляді.

Системи КіП являють собою дієвий інструмент для оперативного контролю результатів впровадження тих чи інших заходів з енергозбереження. Це означає, що перш ніж система КіП почне функціонувати, необхідно не тільки встановити відповідний «стандарт» споживання електричної енергії, але також визначити та реалізувати на об'єкті будь-який можливий захід з енергозбереження. Отже,

традиційні системи КіП недоцільно застосовувати безпосередньо для здійснення контролю ефективності використання електроенергії на будь-якому об'єкті.

Періодичний контроль ефективності використання електричної енергії на будь-якому об'єкті, а саме контроль результатів впровадження на ньому відповідного заходу з енергозбереження, у традиційних системах КіП може здійснюватися по-різному.

За умови, якщо «стандарт» споживання електричної енергії встановлено у вигляді константи або однофакторної (лінійної чи нелінійної) регресійної залежності, контроль виконання цього «стандарту» може здійснюватися графічно, тобто безпосередньо за допомогою його графіка. При цьому щотижня наносяться значення фактичної витрати електроенергії на відповідний графік «стандарту» електроспоживання на об'єкті (рис. 1.1).

Згідно з традиційним підходом до застосування систем КіП знаходження фактичних значень споживання електроенергії нижче лінії встановленого «стандарту», свідчить про його виконання, а також про те, що на об'єкті протягом відповідного періоду контролю досягнуто відповідне енергозбереження (тобто за допомогою впровадженого на об'єкті заходу енергозбереження дійсно досягнуто бажаного результату).

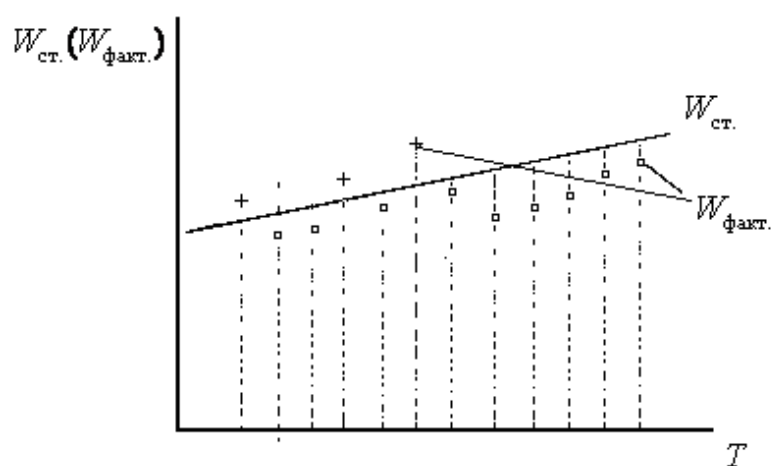


Рисунок 1.1 - Контроль зміни ефективності використання електричної енергії за графіком «стандарту» електроспоживання.

Поява фактичних значень споживання електроенергії, що перевищують лінію «стандарту», вказує на те, що запланованого енергозбереження на об'єкті не було досягнуто, за відповідний період часу (тиждень) встановлений «стандарт» не був виконаний.

### **1.2.2 Недоліки традиційної методики побудови та функціонування систем контролю і планування електроспоживання**

Системи КіП енергоспоживання зарекомендували себе в зарубіжній практиці як дієвий інструмент оперативного контролю ефективності використання електричної енергії на локальних технологічних об'єктах.

Методику побудови та функціонування систем КіП споживання електроенергії, наведену у підрозділі 1.2.1, можна вважати традиційною, оскільки на її основі базуються численні системи КіП, які протягом досить тривалого часу застосовують у країнах Західної Європи, зокрема, у Великобританії [26, 29].

Період контролю ефективності використання електричної енергії на будь-якому об'єкті за допомогою систем КіП може бути будь-яким, наприклад, таким, що дорівнює тривалості однієї робочої зміни або навіть одній годині. Перевагами методики створення та використання систем КіП є простота та незначні витрати часу на здійснення оперативного контролю ефективності енерговикористання.

Однак у теоретичному та методичному відношенні методики побудови та функціонування систем КіП, які традиційно використовуються в зарубіжних країнах, мають низку суттєвих недоліків, спрощень, невирішених питань, що не дозволяють «механічно» застосовувати їх в умовах України для управління ефективністю використання електроенергії.

Є декілька причин недостатньої точності та об'єктивності результатів контролю ефективності використання електричної енергії на основі традиційних систем КіП.

Перш за все, необхідно відзначити, що при використанні традиційних методів побудови систем КіП електроспоживання «стандарти» є надто простими, тобто неадекватними відповідним процесам, вони не враховують впливу багатьох факторів на споживання електроенергії в конкретних умовах. Основні групи факторів, які в загальному випадку можуть суттєво впливати на споживання електричної енергії на будь-якому технологічному чи виробничому об'єкті, показано на рис. 1.2. Зокрема, до таких факторів необхідно віднести технічний стан і режими роботи обладнання, параметри, що характеризують технологію і організацію відповідних виробничих процесів, а також кліматичні або інші зовнішні умови виробництва. Причому вплив більшості з цих факторів на зміну величини електроспоживання здебільшого має нелінійний характер.

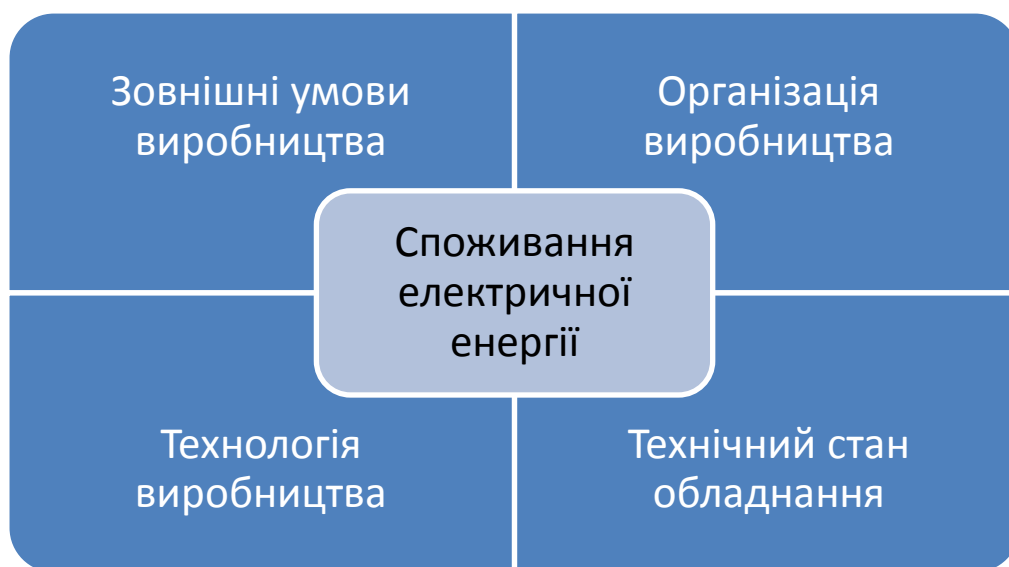


Рисунок 1.2 - Основні групи факторів, які впливають на зміну величини споживання електроенергії виробничих об'єктів

Таким чином, якщо для побудови «стандарту» електроспоживання не враховується достатньо повний склад факторів, що суттєво впливають на обсяги споживання електричної енергії, або характер впливу цих факторів не відповідає реальному, як це зазвичай відбувається у разі використання традиційних методик

побудови систем КіП, то існує ймовірність того, що встановлений «стандарт» виявиться неадекватним процесу.

Крім того, «стандарт» споживання електроенергії, що використовується в будь-якій системі КіП, являє собою математичну модель цього процесу, а будь-яка математична модель має залишкову похибку моделювання, що не враховується у процесі створення традиційних систем КіП. Разом з тим, існують відомі математичні методи, які дозволяють враховувати залишкову похибку моделювання і тим самим встановлювати більш обґрунтовані «стандарти» електроспоживання. Адже саме встановлення обґрунтованих «стандартів» є ключовим питанням, від коректного вирішення якого значною мірою залежить можливість отримання об'єктивної кількісної оцінки рівня ефективності використання електричної енергії в системах КіП.

Варто також звернути увагу ще на одну особливість «стандартів» споживання електроенергії, які встановлюються в традиційних системах КіП. Навіть якщо такий «стандарт» встановлений достатньо коректно, за своїм змістом він має виключно «індивідуальний» характер, тобто цей «стандарт» адекватний технологічним процесам та виробничим умовам, характерним тільки для об'єкта. Таким чином, порівнювати ефективність використання електричної енергії навіть на однорідних за виробничим призначенням об'єктах, зіставляючи між собою встановлені для них «стандарти» електроспоживання, майже неможливо.

Системи КіП споживання електричної енергії традиційно створюються для локальних технологічних об'єктів. Що стосується виробничо-господарських об'єктів, то для них системи КіП побудувати практично неможливо. Однією з основних причин цього є те, що математичні моделі споживання електричної енергії для таких об'єктів повинні бути дуже складними і побудувати їх за допомогою методів, які традиційно використовуються в системах КіП, неможливо.

Очевидно, що з тієї ж причини неможливо застосовувати системи КіП для контролю ефективності використання електричної енергії на ще більш високих



рівнях управління суспільним виробництвом: у галузях економіки або в регіонах держави.

Функціонування систем КіП на будь-якому об'єкті полягає передусім у періодичному контролі виконання встановлених «стандартів» споживання електричної енергії. При цьому можна стверджувати, що при функціонуванні традиційних систем КіП електроспоживання немає чіткої та об'єктивної процедури такого контролю. Використання для цього відомих графіків кумулятивної суми (графіків CUSUM) дозволяє тільки візуально, а, отже, орієнтовно оцінити загальну тенденцію відхилення фактичного електроспоживання від «стандартних» його значень. Грунтуючись на такому способі контролю, що традиційно використовується в системах КіП, неможливо проаналізувати причину невиконання встановленого «стандарту» – вплив будь-яких об'єктивних факторів (недосконалість самої математичної моделі споживання електроенергії, об'єктивні зміни параметрів технологічного процесу або умов роботи обладнання, які не залежать від експлуатаційного персоналу) чи суб'єктивні дії самого персоналу. Очевидно, що з цих причин отримані при застосуванні традиційних систем КіП результати контролю виконання встановлених «стандартів» навряд чи можна вважати достатньо об'єктивною оцінкою рівня ефективності використання електроенергії. Тому результати такого контролю ефективності електроспоживання не можуть бути підставою для прийняття правильних рішень у процесі управління енергозбереженням на будь-якому об'єкті.

Таким чином, можна стверджувати, що побудова і функціонування традиційних систем КіП через їх недосконалість не дозволяє отримувати достатньо об'єктивну кількісну оцінку рівня ефективності використання електричної енергії на різних технологічних і, тим більше, виробничих об'єктах.

Необхідно звернути увагу ще на одну проблему, що виникає при побудові традиційних систем КіП. Періодичність контролю ефективності використання електроенергії в таких системах здебільшого припускають рівною одному тижню. З цієї причини збір вихідних даних, необхідних для створення і успішного початку

роботи систем КіП на будь-якому технологічному об'єкті, триває 5–10 тижнів. Тобто процес побудови таких систем навіть для кількох десятків енергоємних технологічних процесів із застосуванням традиційних методів розтягується на роки. На реальних же виробничо-господарських об'єктах може виникнути необхідність створення сотень систем КіП, що потребує величезних витрат часу і може зробити це завдання таким, яке неможна вирішити.

Отже, традиційна методика побудови і застосування систем КіП потребує суттєвого вдосконалення і подальшого розвитку. Тобто необхідно розробити новий, більш коректний підхід до створення і функціонування систем оперативного контролю ефективності використання електричної енергії, який дозволить усунути основні, наведені вище недоліки традиційних систем КіП.

### **1.3 Оцінювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базового рівня енергоспоживання та показників енергетичної ефективності**

Чинний національний стандарт ДСТУ ISO 50001 [1] установлює вимоги щодо розроблення, впровадження, підтримання в робочому стані та поліпшення системи енергетичного менеджменту, призначенням якої є надання організації можливості реалізувати систематичний підхід до досягнення постійного підвищення рівня енергетичної ефективності, охоплюючи використання та споживання енергетичних ресурсів. Цей стандарт застосовують до всіх параметрів, що впливають на рівень енергетичної ефективності, який організація може відстежувати завдяки моніторингу та на який вона спроможна вплинути, але він не визначає конкретних критеріїв щодо енергетичної ефективності.

Національні стандарти ДСТУ ISO 50004 та ДСТУ ISO 50006 [4, 2] забезпечують настанови щодо виконання вимог до системи енергетичного менеджменту на основі ISO 50001 і скеровують організації до застосування системного підходу для досягнення постійного вдосконалення енергоменеджменту та енергетичної ефективності.

Згідно вимог стандарту [1] організація має здійснювати та документувати процес, пов'язаний з енергетичним плануванням. Енергетичне планування забезпечує підґрунтя для розробки СЕМ, яка базується на розумінні енергетичної ефективності організації. Це етап, на якому аналіз організацією її енергетичних показників та іншої енергетичної інформації використовується для прийняття обґрунтованих рішень про заходи, спрямовані на постійне підвищення енергетичної ефективності.

Енергетичне планування – це частина «Планування» циклу ПДПК системи енергоменеджменту.

Енергетичне планування складається з наступних етапів:

- енергетичний аналіз;
- встановлення базового рівня енергоспоживання (БРЕ);
- визначення показників енергетичної ефективності (ПЕЕ);
- постановка енергетичних цілей та завдання.

**Енергетичний аналіз** – це аналітична частина процесу енергетичного планування.

Під час реалізації енергетичного аналізу, відправною точкою є наявні дані. Енергетичний аналіз може вдосконалюватися по мірі того, як організація отримує більше досвіду в управлінні енергетичними даними та у ході прийняття рішень на основі аналізу енергетичних даних.

Згідно стандарту ДСТУ ISO 50004 [4] для виконання аналізу використання і споживання енергії необхідно: ідентифікувати наявні джерела енергії; визначити існуючі області використання енергії; оцінити використання та споживання енергії за теперішній та минулі періоди. Отримана інформація використовується для визначення та аналізу СВЕ і пошуку можливостей для підвищення енергетичної ефективності підприємства.

Для ідентифікації джерел енергії рекомендується вивчити енергетичні потоки і кінцеве застосування. Наступним кроком енергетичного аналізу є поєднання джерел енергії з використанням енергії. Після визначення областей використання енергії,

оцінюється минуле і поточне використання і споживання енергії. Результатом чого є виміряне або розраховане споживання енергії, пов'язане з кожною ідентифікованою областю використання енергії за період, визначений як відповідний.

СВЕ визначають з метою встановлення пріоритетів енергетичного менеджменту, підвищення рівня енергоефективності і розподілу ресурсів.

Процес визначення СВЕ включає в себе врегулювання критеріїв щодо значного споживання енергії (енергетичний баланс) та значних можливостей для підвищення енергоефективності (результати енергоаудиту, інженерно-технічних досліджень та інше).

Можливі методи, що можуть допомогти ідентифікувати СВЕ в організації, включають в себе: енергоаудити (наприклад, ISO 50002 [3] та інші стандарти оцінки енергетичних ресурсів); технологічні карти; графіки і діаграми; розрахункові документи або таблиці; діаграми Сенкі (схеми потоку енергії); баланс маси та енергії; схематичне відображення використання енергії; імітаційні моделі використання та споживання енергії; огляди обладнання, систем або процесів кінцевого використання; інвентаризацію енергоспоживального обладнання, у тому числі – енергетичну оцінку і типові години роботи; регресійний аналіз споживання енергії обладнанням, системами або процесами у порівнянні з відповідними змінними, що впливають на споживання ними енергії.

Споживання енергії залежить від багатьох змінних. Для визначення впливу відповідних змінних на СВЕ необхідно зібрати та проаналізувати дані. Якщо зроблені припущення щодо областей СВЕ споживання енергії, то необхідно провести додатковий аналіз для визначення впливу відповідних змінних.

Поточні рівні енергоефективності СВЕ слід встановлювати, використовуючи наявні дані про споживання енергії та інформацію щодо виявлених відповідних змінних.

Після збору та аналізу даних про використання та споживання енергії і відповідних змінних за певний період часу, оцінюють використання та споживання енергії за аналогічний період часу в майбутньому. Під час цього оцінювання

необхідно брати до уваги кожне СВЕ, відповідну змінну та очікувані зміни, що відбудуться за цей майбутній період на виробничому об'єкті, в обладнанні, системах та процесах.

Результатом цієї частини енергетичного аналізу є список потенційного СВЕ на основі значного споживання енергії; відповідні змінні, що впливають на визначене СВЕ; аналіз поточного досягнення СВЕ та розрахунок (прогнозована оцінка) майбутнього використання та споживання енергії.

Наступним етапом енергетичного аналізу є виявлення, визначення пріоритетів та оцінка можливостей підвищення енергетичної ефективності. Виявлення можливостей для підвищення енергоефективності та складання списку цих можливостей підвищення за пріоритетами є результатом енергетичного аналізу.

Енергетичний аналіз надає інформацію і дані, необхідні для встановлення **базового рівня енергоспоживання**.

### ***Визначення показників енергетичної ефективності***

ПЕЕ – це значення або міра, яка виражає кількісно результати, пов'язані з енергоефективністю, енерговикористанням та енергоспоживанням на об'єктах, в системах, процесах і обладнанні. Організації використовують ПЕЕ як міру їх рівня досягнутої енергоефективності.

Під час визначення ПЕЕ організація повинна знати свої характеристики енергоспоживання, такі як базова навантага (тобто фіксоване енергоспоживання), а також змінні навантаги, пов'язані з виробництвом, розміщенням, погодою та іншими чинниками.

Організації необхідно визначити завдання для встановлення рівня досягнутої енергоефективності як частину процесу планування енергії в своїх системах енергоменеджменту.

Енергетичні завдання повинні характеризуватися значеннями ПЕЕ. ПЕЕ, порівнювані в різний час, повинні давати змогу організації визначати чи змінився рівень досягнутої енергоефективності та чи відповідає це поставленим завданням.

Під час вибору відповідних ПЕЕ, ключовими чинниками для розгляду є користувачі інформації та їхні потреби.

Основними типами ПЕЕ є:

- виміряне значення енергії (вимірювання споживання всієї ділянки або одного чи більше використань енергії за допомогою лічильника);
- співвідношення вимірних значень (рівняння енергоефективності);
- статистична модель (зв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними за допомогою лінійної або нелінійної регресії);
- проектна базова модель (взаємозв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними, використовуючи технічне моделювання).

ПЕЕ мають бути зрозумілими їх користувачам. Тип і складність ПЕЕ повинні бути адаптовані для різних потреб кінцевих споживачів. Можуть знадобитися кілька ПЕЕ.

ПЕЕ можуть бути розроблені для внутрішніх або зовнішніх користувачів. Внутрішні користувачі зазвичай використовують ПЕЕ для поліпшення енергоефективності. Зовнішні користувачі зазвичай використовують ПЕЕ для забезпечення інформаційних вимог, отриманих з юридичних та інших вимог. ПЕЕ можуть бути встановлені на різних рівнях організації чи установи.

### ***Встановлення базових рівнів енергоспоживання***

БРЕ є довідковим матеріалом, який характеризує та кількісно визначає рівень досягнутої енергоефективності організації протягом певного періоду часу. БРЕ дає змогу організації оцінити зміни рівня досягнутої енергоефективності між вибраними проміжками часу. БРЕ також використовують для обчислення економії енергії, як еталон до та після реалізації заходів щодо поліпшення рівня досягнутої енергоефективності.

БРЕ характеризується значенням ПЕЕ протягом періоду дії базового рівня енергоспоживання. Порівняння між БРЕ та ПЕЕ звітного періоду можна використовувати для ілюстрації прогресу в досягненні цілей енергетики та

енергетичних завдань і демонструвати поліпшення рівня досягнутої енергоефективності.

Для встановлення БРЕ необхідно виконати наступні кроки:

- визначити конкретні цілі, для яких буде використовуватися БРЕ;
- визначити підходящий період даних;
- зібрати дані;
- визначити та перевірити БРЕ.

Під час встановлення БРЕ організація повинна визначити відповідний період даних в розгляді характеру її діяльності. Період дії базового рівня енергоспоживання та звітний періоди мають бути досить тривалими, щоб гарантувати, що відмінності в робочих моделях враховуються в БРЕ та ПЕЕ. Зазвичай ці періоди становлять 12 місяців для обліку сезонності в споживанні енергії та визначальних змінних.

Частота, з якою організація отримує дані, є важливим чинником у визначенні відповідного періоду дії базового рівня енергоспоживання. Період дії базового рівня енергоспоживання повинен бути досить тривалим, щоб охопити зміни у визначальних змінних, таких як сезонність виробництва, погодні умови тощо.

Деякі організації встановлюють період дії базового рівня енергоспоживання, використовуючи стандартні умови експлуатації протягом кількох років, щоб характеризувати типові умови експлуатації та застосувати ці дані для створення БРЕ.

В стандарті [2] наведено настанову організації стосовно того, як встановити, використовувати та підтримувати показники енергоефективності (ПЕЕ) та базові рівні енергоспоживання (БРЕ) як частину процесу вимірювання рівня досягнутої енергоефективності.

Стандарт [2] забезпечує організації практичною настановою стосовно того, як відповідати вимогам ISO 50001, пов'язаним зі створенням, використанням та підтриманням показників енергоефективності (ПЕЕ) та базових рівнів

енергоспоживання (БРЕ) під час вимірювання рівня досягнутої енергоефективності та змін рівня досягнутої енергоефективності. ПЕЕ та БРЕ –дають змогу вимірювати і, отже, керувати рівнями досягнутої енергоефективності в організації.

Організації визначають завдання для рівня досягнутої енергоефективності в рамках процесу енергетичного планування в своїх системах енергетичного менеджменту (енергоменеджменту). Організація повинна розглянути завдання щодо питомого рівня досягнутої енергоефективності під час визначення та планування ПЕЕ та БРЕ. Зв'язок між рівнями досягнутої енергоефективності, ПЕЕ, БРЕ та енергетичними завданнями показано на рисунку 1.3.

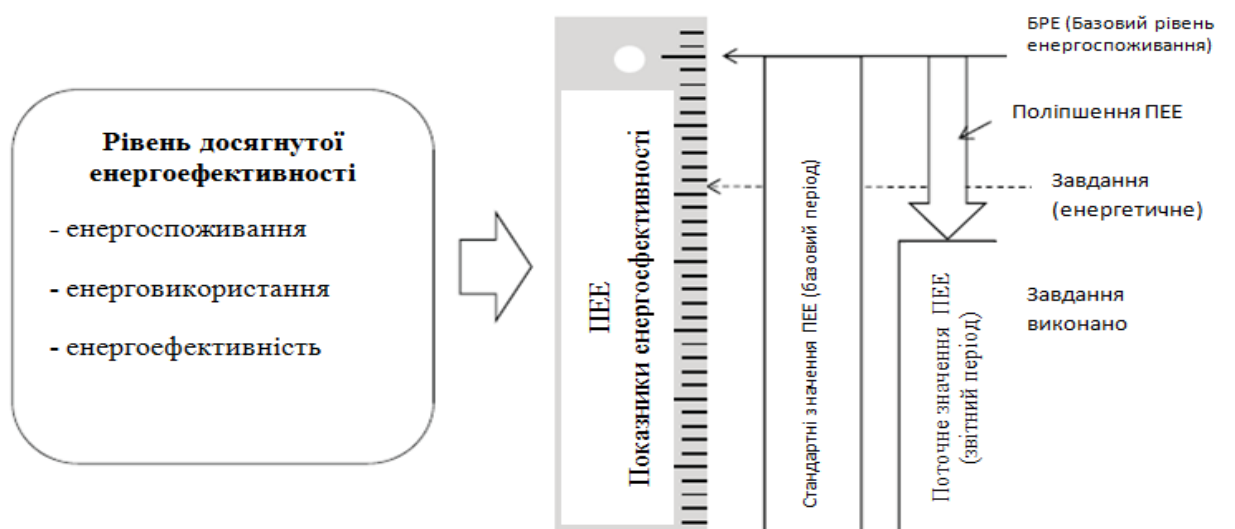


Рисунок 1.3 – Зв'язок між рівнями досягнутої енергоефективності, ПЕЕ, БРЕ та енергетичними завданнями

Прихильність і залученість найвищого керівництва має важливе значення для ефективного здійснення, підтримання та поліпшення системи енергоменеджменту (СЕМ) з метою досягнення успіхів в поліпшенні рівня досягнутої енергоефективності.

Порівняння рівня досягнутої енергоефективності за період дії базового рівня енергоспоживання і звітний періоди полягає в обчисленні різниці значень ПЕЕ за два періоди.



У тих випадках, коли організація вирішила, що визначальні змінні, такі як погодні умови, виробництво, кількість робочих годин організації тощо впливають на рівень досягнутої енергоефективності, організація повинна унормувати ПЕЕ та відповідні їм БРЕ, щоб порівняти рівень досягнутої енергоефективності за еквівалентних умов.

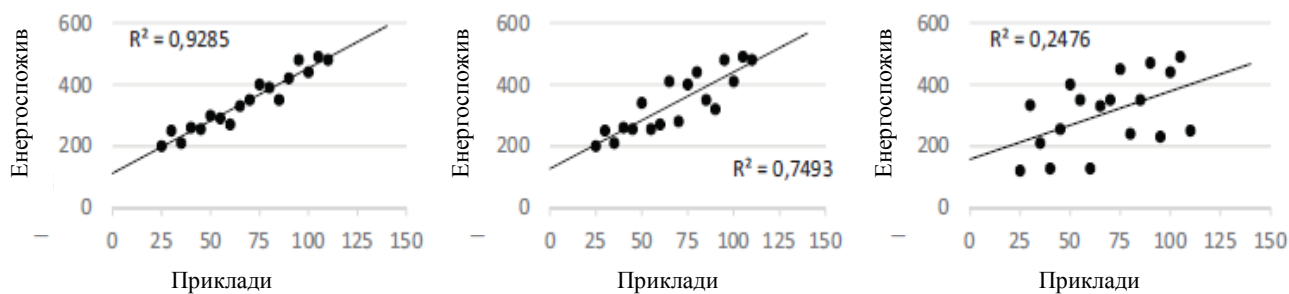
### ***Визначення та кількісне оцінювання визначальних змінних***

Залежно від потреб організації та її системи енергоменеджменту має бути визначено та кількісно оцінено на кожній межі ПЕЕ визначальні змінні, які можуть вплинути на рівень досягнутої енергоефективності. Важливо виокремити ці змінні, які є важливими з точки зору рівня досягнутої енергоефективності від змінних, які мало впливають або зовсім не впливають. Аналіз даних часто потребує визначення важливих визначальних змінних.

Важливо зрозуміти будь-які тенденції в енергоспоживанні та в потенційно визначальних змінних. Їх може бути побудовано протягом тривалого часу на графіку тренду.

Після оцінювання видимих тенденцій в енергоспоживанні та змінних, організація може оцінити значимість співвідношення. Для цього організація може побудувати простий X-Y графік залежності енергоспоживання та змінних. Якщо змінна є визначальною, можна очікувати, що буде видима залежність в розкиді точок. Якщо точки розкидано наближено до математичної функції, що відповідає лінії тренду, то це свідчить про наявність визначальних змінних (рисунки 1.4 а і 1.4 б). Якщо точки розташовано у вигляді випадкової хмари, без видимого порядку, змінна ймовірно не є визначальна (рисунок 1.4 с).

У багатьох випадках проста лінійна залежність є достатньою для визначення визначальності. Деякі змінні можуть виявитись нелінійно залежними, і організація повинна вирішити, як долучити ці змінні в розрахунок ПЕЕ.



а) Важливі змінні

б) Менш важливі змінні

с) Неважливі змінні

Рисунок 1.4 – Змінні різного рівня важливості

Якщо робочі моделі та значення визначальних змінних значно відрізняються, важливо забезпечити, щоб дані було проаналізовано для кореляції з правильною частотою, щоб упевнитись, що вплив кожної змінної оцінено належним чином.

### ***Визначення та кількісне оцінювання статичних чинників***

Чинники, що впливають на рівень досягнутої енергоефективності, часто змінюють значення. Чинники слід проаналізувати, щоб побачити, чим краще їх вважати – визначальною змінною чи статичним чинником.

Важливо записати умови цих статичних чинників у той час, коли їх встановлюють. Організація повинна розглянути ці статичні чинники протягом деякого часу, щоб переконатися, що ПЕЕ та БРЕ залишаються відповідними, і записувати будь-які значні зміни, які можуть вплинути на рівень досягнутої енергоефективності.

Хоча статичні чинники можуть суттєво не відрізнятись у звітному періоді та періоді дії базового рівня енергоспоживання, але якщо змінюються умови, то статичні чинники можуть змінитися, і організація повинна підтримувати відповідні ПЕЕ та БРЕ.

Організація повинна зазначити дані, що їх має бути зібрано для кожного ПЕЕ та відповідного БРЕ. Збирання даних може відбутися в будь-який момент під час процесу. Джерела енергії має бути визначено разом з визначальними змінними.

Важливо зібрати всі дані, зокрема статичні чинники, які будуть використані для ПЕЕ та відповідного БРЕ.

### **Висновки до розділу 1**

1. Для визначення рівня енергетичної ефективності за показниками питомої витрати електроенергії або показників типу ККД, потрібен додатковий показник, "еталон", з яким можна було б порівнювати фактичну питому витрату електроенергії. Для оцінки та аналізу ефективності використання електроенергії необхідно визначити норми питомої витрати електроенергії.

2. Нормування питомих витрат електроенергії є одним з підходів контролю ефективності електровикористання. Розрахунково-аналітичний, експериментальний (дослідний) та комбінований методи визначено основними методами нормування питомих витрат. Також успішно може бути застосованим імовірісно-статистичний метод.

3. Для вирішення завдань управління ефективністю використання електричної енергії активно використовують побудову системи контролю і планування. Таким чином, у системі КіП забезпечується підтримка на заданому рівні ефективності використання електричної енергії на об'єкті, а також поступове підвищення цього рівня. За аналогією до нормування питомих витрат електроенергії такий процес можна назвати поступовою «нормалізацією» електроспоживання.

4. Функціонування систем КіП на будь-якому об'єкті полягає передусім у періодичному контролі виконання встановлених «стандартів» споживання електричної енергії. При цьому можна стверджувати, що при функціонуванні традиційних систем КіП електроспоживання немає чіткої та об'єктивної процедури такого контролю. Традиційна методика побудови і застосування систем КіП потребує суттєвого вдосконалення і подальшого розвитку.

5. Згідно ISO 50001, для ефективного вимірювання та кількісної оцінки рівня досягнутої енергоефективності, організація встановлює ПЕЕ та БРЕ. ПЕЕ

застосовують, щоб кількісно оцінити рівень досягнутої енергоефективності всієї організації або її різних частин. БРЕ – для порівняння значень енергоефективності протягом тривалого часу та кількісного оцінювання змін в рівні досягнутої енергоефективності. Базовий рівень енергоспоживання згідно ISO 50001 - це встановлення "стандарту" електроспоживання в системах контролю і планування.

6. Визначення напрямків енерговикористання допомагає класифікувати енергоспоживання. ПЕЕ та БРЕ може також бути використано на об'єкті, системі, процесі чи частині обладнання, або для оцінювання окремих дій щодо поліпшення рівня досягнутої енергоефективності. ПЕЕ повинні надавати відповідну інформацію про рівень досягнутої енергоефективності. Енергетичний аналіз надає корисну інформацію стосовно рівня досягнутої енергоефективності для формування ПЕЕ та БРЕ.

7. Для вимірювання рівня досягнутої енергоефективності треба визначити прийнятні межі вимірювання кожного ПЕЕ. Вони називаються межами ПЕЕ та можуть перекриватися. ПЕЕ та БРЕ для СВЕ потребують добре визначених меж для того, щоб кількісно визначити потоки енергії. Важливим чинником для кожного СВЕ є відповідні прилади обліку для вимірювання енергоспоживання, яке перетинає межу СВЕ, а також наявність даних про визначальні змінні.

## **РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

### **2.1 Огляд методів прогнозування обсягів споживання електроенергії виробничими об'єктами**

За вітчизняними та зарубіжними оцінками існує більше ста методів прогнозування. Як наслідок, виникає проблема вибору найбільш прийнятних методів для отримання адекватного результату прогнозу споживання електроенергії об'єктом дослідження. В роботі [30] виконано аналіз найбільш поширених методів.

За ступенем формалізації методи прогнозування поділяються на інтуїтивні і формалізовані. Інтуїтивне прогнозування застосовується у випадку, якщо об'єкт прогнозування занадто простий, або настільки складний, що практично неможливо аналітично врахувати вплив багатьох чинників. В таких випадках вдаються до опитування експертів. В залежності від загальних принципів дії інтуїтивні методи прогнозування, розділяють на дві групи, а саме: індивідуальні експертні оцінки і колективні експертні оцінки. Отримані результати індивідуальної та колективної експертної оцінки використовують в якості вихідних даних в комплексних системах прогнозування або як кінцеві прогнози.

До групи індивідуальних експертних оцінок можна включити наступні методи: метод «інтерв'ю», аналітичні доповідні записки, написання сценарію. До групи колективних експертних оцінок входять анкетування, методи «комісій», «мозкових атак» (колективної генерації ідей).

Клас формалізованих методів в залежності від загальних принципів дії можна розділити на групи екстраполяційних, системно-структурних, асоціативних методів і методів випереджаючої інформації. Формалізовані методи включають в себе моделі прогнозування. Моделі прогнозування розділяються на структурні та статистичні моделі.

В статистичних моделях функціональна залежність між зовнішніми факторами і майбутніми та фактичними значеннями часового ряду задається аналітично, а в структурних моделях функціональна залежність задається структурно.

До групи методів прогнозної екстраполяції входять методи найменших квадратів, експоненціального згладжування, імовірнісного моделювання та адаптивного згладжування. До групи системно-структурних методів відносяться методи функціонально-ієрархічного моделювання, морфологічного аналізу, матричний, мережевого моделювання, структурної аналогії. Асоціативні методи розділяються на методи імітаційного моделювання та історико-логічного аналізу. До групи методів випереджаючої інформації входять методи аналізу потоків публікацій, оцінки значущості винаходів і аналізу патентної інформації.

Прогнози розділяються на точкові (прогнози, які фіксують одне значення параметра прогнозу об'єкта прогнозування) та інтервальні (прогнози, які фіксують два і більше можливих значень прогнозованого параметру) (рис. 2.1).

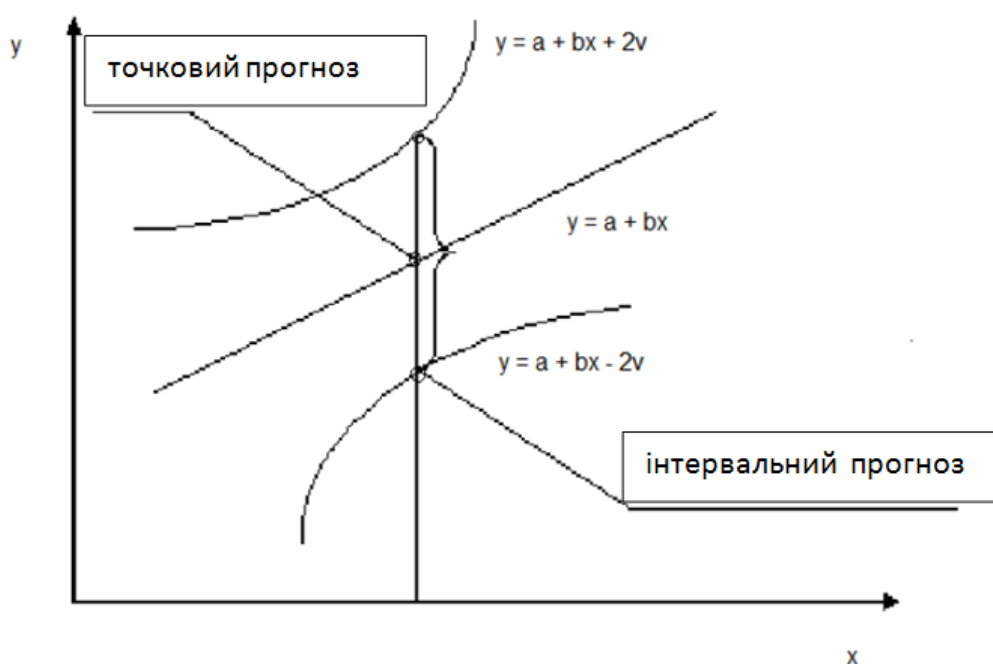


Рисунок 2.1 - Точковий та інтервальний прогнози

За типами прогнозування поділяється на короткострокове (година, доба, тиждень), середньострокове (місяць, квартал, рік) та довготривале (два роки та більше).

Методом прогнозування називається спосіб вивчення об'єкту прогнозування, направлений на створення прогнозу.

## **2.2 Основні методи прогнозування часових рядів**

### **2.2.1 Прогнозна екстраполяція**

Схема екстраполяції у методичному плані є основним інструментом будь-якого прогнозу. Розрізняють формальну і прогнозну екстраполяцію. Формальна екстраполяція базується на припущенні про збереження в майбутньому минулих і справжніх тенденцій розвитку об'єкта прогнозу. Фактичний розвиток пов'язується з гіпотезами про динаміку процесу дослідження з урахуванням в перспективі його фізичної і логічної сутності при прогнозній екстраполяції [30].

Вивчення часових рядів є основою екстраполяційних методів прогнозування. Часові ряди представляють собою впорядковані в часі набори вимірювань тих чи інших характеристик об'єкта дослідження, процесу.

Часовий ряд  $y_t$  може бути представлений в наступному вигляді:

$$y_t = x_t + S + C + \varepsilon_t, \quad (2.1)$$

де  $x_t$  - детермінована не випадкова компонента процесу (тренд);  $S$  - сезонна складова;  $C$  - циклічна складова;  $\varepsilon_t$  - стохастична компонента процесу.

Найбільш поширеними методами оцінки параметрів залежностей є метод найменших квадратів і його модифікації, метод експоненціального згладжування, метод імовірнісного моделювання та метод адаптивного згладжування.

### 2.2.1.1 Метод найменших квадратів

Сутність методу найменших квадратів полягає в знаходженні параметрів моделі тренду, які мінімізують її відхилення від точок вихідного часового ряду, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2.2)$$

де  $\hat{y}_i$  - розрахункові значення вихідного ряду;  $y_i$  - фактичні значення вихідного ряду;  $n$  - кількість спостережень. Якщо модель тренда представити у вигляді

$$\hat{y} = f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_k, t), \quad (2.3)$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_k$  - параметри моделі;  $t$  - час;  $x_i$  - незалежні змінні, то для того, щоб знайти параметри моделі, що задовольняють умові (1.2), необхідно прирівняти нулю перші похідні величини  $S$  по кожному з коефіцієнтів  $a_j$ . Вирішуючи отриману систему рівнянь з  $k$  невідомими, знаходимо значення коефіцієнтів  $a_j$ .

В якості моделі тренда в практичних дослідженнях зазвичай використовують наступні функції: лінійну  $y = ax + b$ ; квадратичну  $y = ax^2 + bx + c$ ; ступеневу  $y = ax^n$ ; показову  $y = a^x$ ; експонентну  $y = ae^x$ ; логістичну  $y = \frac{a}{1 + be^{-ex}}$  [30].

Метод найменших квадратів широко застосовується для отримання конкретних прогнозів, що пояснюється його простотою і легкістю реалізації на електронних обчислювальних машинах. Недолік методу полягає в тому, що модель тренда жорстко фіксується, і за допомогою даного методу можна отримати надійний прогноз на невеликий період прогнозу. Тому метод найменших квадратів відноситься до методів короткострокового прогнозування. Також недоліком методу є виникнення істотних труднощів під час вибору виду моделі.



### 2.2.1.2 Метод експоненціального згладжування

Експоненціальне згладжування є досить ефективним і надійним методом прогнозування. До основних переваг методу відносяться: можливість обліку ваг вихідної інформації, простота обчислювальних операцій, гнучкість опису різних динамік процесів. Метод експоненціального згладжування дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, які характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, що склалася до моменту останнього спостереження. Найбільше застосування метод знайшов для реалізації середньострокових прогнозів. Для методу експоненціального згладжування основним і найбільш складним є вибір параметра згладжування  $\alpha$ , початкових умов і ступеня полінома прогнозування [30, 31].

Вихідний динамічний ряд описується рівнянням:

$$y_t = a_0 + a_1 t + \frac{a_2}{2} t^2 + \dots + \frac{a_p}{p!} t^p + \varepsilon_t. \quad (2.4)$$

Метод експоненціального згладжування є узагальненням методу змінного середнього і дозволяє побудувати такий опис процесу (2.4), при якому більш пізнім спостереженнями надається велика вага в порівнянні з ранніми спостереженнями, причому ваги спостережень убують по експоненті.

Важливу роль в методі експоненціального згладжування відіграє вибір оптимального параметра згладжування  $\alpha$ , так як саме він визначає оцінки коефіцієнтів моделі, а, отже, і результати прогнозу [30].

### 2.2.1.3 Метод імовірнісного моделювання

Прогнозування з використанням імовірнісних моделей базується на методі експоненціального згладжування. Імовірнісні моделі за своєю суттю відрізняються

від екстраполяційних моделей часових рядів, в яких основою є опис зміни в часі процесу.

У тимчасових рядах моделі являють собою деяку функцію часу з коефіцієнтами, значення яких оцінюються за спостереженнями. В імовірнісних моделях оцінюються імовірності, а не коефіцієнти [30].

Імовірнісна модель оперує послідовністю спостережень з урахуванням їх розподілу та ігнорує послідовність цієї інформації вже безпосередньо в часі.

При достатній кількості вихідної інформації імовірнісна модель може дати цілком надійний прогноз. Перевагою моделі є простота і наочність. Оцінки, одержувані за допомогою цієї моделі, мають цілком конкретний зміст. Недоліком моделі є вимога великої кількості спостережень і незнання початкового розподілу, що може привести до неправильних оцінок.

### **2.2.2 Інтуїтивні (експертні) методи прогнозування**

Методи експертних оцінок використовуються для аналізу об'єктів і проблем, розвиток яких або повністю, або частково не піддається математичної формалізації, тобто для яких важко розробити адекватну модель. Застосовувані в прогнозуванні методи експертної оцінки поділяють на індивідуальні та колективні.

Індивідуальні експертні методи засновані на використанні думок експертів-фахівців відповідного профілю незалежно один від одного. Найбільш часто застосованими є наступні два методи формування прогнозу: інтерв'ю та аналітичні експертні оцінки.

**Метод інтерв'ю** передбачає бесіду прогнозіста з експертом. Аналітичні експертні оцінки передбачають тривалу і ретельну самостійну роботу експерта над аналізом тенденцій, оцінкою стану і шляхів розвитку прогнозованого об'єкта.

Основними перевагами розглянутих методів є можливість максимального використання індивідуальних здібностей експерта і незначність психологічного тиску, що чиниться на окремого працівника. Однак ці методи мало придатні для

прогнозування найбільш загальних стратегій через обмеженість знань одного фахівця-експерта про розвиток суміжних галузей науки [30].

Методи колективних експертних оцінок ґрунтуються на принципах виявлення колективної думки експертів про перспективи розвитку об'єкта прогнозування. Цей метод має недолік, що полягає в тому, що група експертів в своїх судженнях керується в основному логікою компромісу.

У **методі Дельфі** замість колективного обговорення тієї чи іншої проблеми проводиться індивідуальне опитування експертів. Потім проводиться статистична обробка анкет і формується колективна думка групи. Недоліком цього методу є неможливість урахування впливу, що чиниться на експертів організаторами опитувань при складанні анкет [30].

### **2.2.3 Регресійний аналіз, моделі ARIMA**

Регресійним аналізом називається розділ математичної статистики, що поєднує методи дослідження регресійної залежності між величинами за статистичними даними. В результаті роботи регресійного аналізу можна визначити загальний вигляд рівняння регресії, виконати розрахунок оцінок невідомих параметрів, що входять в рівняння регресії, і виконати перевірку статистичних гіпотез про отриману регресію.

Задача регресійного аналізу вирішується після виконання декількох кроків. Першим кроком є попередня обробка вихідних даних, другим - визначення виду рівняння регресії, розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії, третім - оцінка адекватності побудованої моделі згідно з результатами спостережень. Первинна робота полягає в стандартизації матриці вихідних даних, розрахунку коефіцієнтів кореляції, перевірку їх значущості і виключення незначущих параметрів. В результаті виконання першого кроку перетворень буде отримано стандартизовану матрицю спостережень та кореляційну матрицю. Стандартизованій матриці можна дати наступну геометричну інтерпретацію: в  $n$ -мірному просторі осі відповідають

вихідним параметрам і показнику. Матриця - це сукупність  $n$  векторів у просторі параметрів, а кожен рядок цієї матриці це вектор в  $n$ -мірному просторі; осі  $n$ -мірного простору відповідають результатам окремих спостережень. Вектори в досліджуваному просторі спостережень відповідають стовпчикам матриці. Всі вектори мають однакову довжину, яка дорівнює  $\sqrt{n}$ . Кут між двома векторами визначає взаємозв'язок відповідних величин. Чим менший цей кут, тим щільніший зв'язок, іншими словами більший коефіцієнт кореляції [33].

При створенні регресійної моделі варто враховувати, що регресійне рівняння не виконує оцінку впливу кожного чинника на досліджуваний показник, така оцінка можлива лише тоді, коли всі інші фактори не пов'язані з досліджуваним. Якщо досліджуваний чинник пов'язаний з іншими, що впливають на показник, то при оцінці буде отримана змішана характеристика впливу чинника. Ця характеристика містить безпосередній та опосередкований вплив чинника, який вчинено через зв'язок з іншими чинниками і їх впливом на досліджуваний показник. Тому в регресійне рівняння не включають чинники, що показують слабкий зв'язок з досліджуваним показником, але тісно пов'язані з іншими чинниками. Функціонально пов'язані один з одним чинники так само не включають в рівняння. Для оцінки якості розрахованого рівняння регресії виконують оцінку ступені близькості між результатами спостережень за показником і розрахованими рівнянням регресії значеннями в зазначених точках простору параметрів. Задачу регресійного аналізу можна вважати вирішеною, а модель якісною, якщо результати близькі. В іншому випадку регресійну модель відправляють на доопрацювання, вносять зміни в рівняння регресії і знову повторюють розрахунки по оцінці параметрів.

Найбільш поширеним методом отримання прогнозів електроспоживання вважається метод найменших квадратів моделі множинної регресії [30, 34]. Для лінійного випадку модель множинної регресії записується у вигляді:

$$y_j = \sum_{i=1}^n a_i x_{ij} + \varepsilon_j, \quad (2.5)$$

де  $a_i$  - коефіцієнт моделі (коефіцієнт регресії);  $y_j$ ,  $x_{ij}$  - відповідно значення  $j$ -ої функції (залежної змінної) та  $i$ -ої незалежної змінної;  $\varepsilon_j$  - випадкова помилка;  $n$  - число незалежних змінних в моделі. В деяких випадках вважається, що  $a_i$  - вільний член, а  $x_{0j} = 1$ .

Задача побудови моделі множинної регресії зводиться до визначення регресійних коефіцієнтів на основі наявних даних про об'єкт прогнозу та впливаючих на нього факторів. Таким чином, кореляційні і регресійні методи, можуть враховувати вплив широкого набору параметрів на вихідну прогнозовану величину електроспоживання. Цим пояснюється той факт, що більшість існуючих прогнозних моделей електроспоживання побудовані на основі цих методів [36, 37].

У той же час отримання прогнозів з допомогою багатофакторних регресійних моделей передбачає незмінність значень коефіцієнтів цих моделей в часі.

В процесі роботи промислового підприємства можлива поява нової інформації, що вимагає коригування значень регресійних коефіцієнтів його прогнозної моделі. Таке коригування є вельми трудомістким процесом, що вимагає великої кількості вихідних даних і обсягів обчислень.

Моделі Аріма, запропоновані Дж.Боксом і Г. Дженкінсом [35], охоплюють досить широкий спектр часових рядів, а невеликі модифікації цих моделей дозволяють досить точно описувати і тимчасові ряди з сезонністю, до яких можна віднести і електроспоживання промислового підприємства. У Аріма - моделі входять, як окремі випадки, моделі авторегресії порядку  $p$  (AR( $p$ )-моделі), моделі змінного середнього порядку  $q$  (MA( $q$ )-моделі) і ARIMA( $p, q$ )-моделі, що представляють собою об'єднання AR( $p$ )-моделі і MA( $q$ )-моделі.

Розглянемо докладніше сутність перерахованих моделей. Перш за все, слід зазначити, що AR-, MA- і ARIMA- моделі описують не сам часовий ряд, а залишки

$\varepsilon_t$ , утворені після віднімання з часового ряду  $x_t$  його не випадковою складовою (тренду).

Моделі авторегресії порядку  $p$  або  $AR(p)$ -моделі визначають залишки  $\varepsilon_t$  наступним чином:

$$\varepsilon_t = \sum_{j=1}^p a_j \varepsilon_{t-j} + \delta_t, \quad (2.6)$$

де  $a$  - деякий числовий коефіцієнт, який не перевищує за абсолютним значенням одиницю;  $\delta_t$  - послідовності випадкових величин, які утворюють білий шум.

Моделі ковзкого середнього порядку  $q$  або  $MA(q)$  - моделі визначають залишки  $\varepsilon_t$  наступним чином:

$$\varepsilon_t = \sum_{j=1}^{\infty} k_j \varepsilon_{t-j} + \delta_t, \quad (2.7)$$

де  $k$  - деякий числовий коефіцієнт.

Авторегресійні моделі з ковзким середніми в залишках або  $ARIMA(p,q)$  - моделі включають в себе як члени, що описують авторегресії, так і члени, які моделюють залишок у вигляді середнього.

Розглянемо переваги і недоліки методів. Завдання побудови моделі множинної регресії зводиться до визначення регресійних коефіцієнтів на основі наявних даних про об'єкт прогнозу і чинників, які впливають на нього. Таким чином, кореляційні і регресійні методи, можуть враховувати вплив широкого набору параметрів на вихідну прогнозну величину електроспоживання. Цим пояснюється той факт, що більшість з існуючих прогнозних моделей електроспоживання побудовані на основі цих методів [36, 37].

У той же час отримання прогнозів за допомогою багатфакторних регресійних моделей передбачає незмінність значень коефіцієнтів цих моделей в часі.

В процесі роботи промислового підприємства можлива поява нової інформації, що вимагає корегування значень регресійних коефіцієнтів його прогнозної моделі. Таке корегування є вельми трудомісткою процедурою, що вимагає великої кількості вихідних даних і обсягів обчислень. Цей факт поряд з вельми жорсткими вимогами, що висуваються до вихідної інформації, призводить до того, що динамічна зміна характеристик прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства часто неможлива.

У ряді випадків вимоги прогнозної моделі до вихідної інформації для реальних спостережень виявляються нездійсненними, тому одержувані оцінки виявляються неефективними, а прогноз - неточним. Досить складною є проблема вибору незалежних чинників впливу. Все це призводить до досить складної реалізації багатфакторних регресійних прогнозних моделей електроспоживання за умови дотримання заданої точності прогнозу.

Методи використання Аріма моделей. Проблеми при використанні методу Бокса - Дженкінса [35] при прогнозуванні електроспоживання виникають, перш за все, через неоднорідність величини електроспоживання, як часового ряду і складності практичної реалізації прогнозних моделей, заснованих на цьому методі. Крім того, методом Бокса - Дженкінса притаманні недоліки кореляційних методів, що обмежує можливість його застосування в деяких випадках для прогнозування на промислових підприємствах, що працюють в умовах ринкової економіки.

В роботі [38] запропонований розрахунково-аналітичний метод, поряд з якими застосовуються розрахунково-статистичний. Суть методу - використання попередньо розрахованих норм питомого споживання на одиницю продукції. Розрахунково-статистичний метод розробки норм витрати використовується при визначенні індивідуальних витрат електроенергії за даними, отриманими в

результаті випробувань обладнання в заданих режимах технологічного процесу, передбачених регламентом або інструкцією. Розрахунково-статистичний метод заснований на аналізі статистичних даних витрат ряду попередніх років про фактичні питомі витрати і фактори, що впливають на їх зміну. Розрахунково-аналітичний метод дозволяє більш детально аналізувати вплив різних чинників на точність визначення норм витрат, а також на прогнозування споживання електроенергії та потужності. Цей метод передбачає визначення норм розрахунковим шляхом по статтям витрат, які обумовлені основними і допоміжними технологічними процесами і потребами при виробництві запропонованого виду продукції. У розрахунково-статистичному методі використовується фактичне споживання електроенергії, отримане за показниками приладів обліку. Метод дозволив досить точно планувати споживання електроенергії при заздалегідь відомому графіку роботи технологічного обладнання. З чого був зроблений висновок, що основним при розробці норм витрати електричної енергії повинен бути розрахунково-аналітичний метод з використанням імовірнісних числових характеристик незалежно від закону розподілу електричних навантажень.

#### **2.2.4 Адаптивні методи прогнозування**

Характерною рисою адаптивних методів прогнозування є їх здатність безперервно враховувати еволюцію динамічних характеристик досліджуваних процесів, «підлаштовуватися» під цю еволюцію, надаючи, зокрема, тим більшу вагу і тим більш високу інформаційну цінність наявними спостереженнями, чим ближче вони до поточного моменту прогнозування. Адаптивне прогнозування дозволяє оновлювати прогнози з мінімальною затримкою і за допомогою відносно нескладних математичних процедур [30].

Мета адаптивних методів полягає в побудові самоналаштованої моделі, яка повинна бути здатною враховувати інформаційну цінність всіх членів часового ряду і давати точні оцінки майбутніх членів даного ряду. Адаптивні моделі мають



перевагу в гнучкості моделі, однак на їх універсальність, і можливість використовувати в будь-яких ситуаціях і для будь-якого часового ряду розраховувати не слід.

Коли створюється модель, слід враховувати найбільш ймовірні закономірності розвитку досліджуваного реального процесу. Треба ж закласти в модель ті адаптивні властивості, яких достатньо для відстеження реального процесу із заданою точністю.

В основі найпростішої адаптивної моделі лежить обчислення експоненціально зваженої ковзної середньої.

До методу адаптивних моделей, відносять модель Брауна. У цьому випадку передбачається, що ряд генерується моделлю

$$x_t = a_{1,t} + \varepsilon_t, \quad (2.8)$$

де  $a_{1,t}$  - варіюючий в часі середній рівень ряду,  $\varepsilon_t$  - білий шум.

Прогноз часового ряду виходить за формулою:

$$\hat{x}_t(t) = S_t, \quad (2.9)$$

де  $S_t$  - значення експоненційної середньої в момент часу  $t$ .

Розглянемо переваги і недоліки адаптивних методів. До цієї групи належать методи Брауна, Хольта і Хольта-Уінтерс [39]. Характерною рисою адаптивних моделей прогнозування є їх здатність враховувати еволюцію характеристик досліджуваних процесів, пристосовуватися до цієї еволюції, зраджуючи більшу вагу і тим самим велику інформаційну цінність спостереженнями в міру їх наближення до поточного моменту прогнозування. Це властивість адаптивних методів є істотним достоїнством з точки зору їх застосовності для цілей прогнозування електроспоживання промислового підприємства. Саме промислове підприємство, його електроспоживання (як сукупність процесів споживання електричної енергії всіма електроприймачами підприємства), являє собою динамічний процес до

мінливих властивостями. Первісне побудова прогнозової моделі на підставі адаптивних методів прогнозування проводиться по декількох перших спостереженнях об'єкта прогнозування. За допомогою отриманої прогнозової моделі дівається прогноз, який порівнюється з фактичними спостереженнями. За результатами порівняння відбувається коригування моделі. Потім за допомогою скоригованої моделі робиться прогноз по наступним спостереженням і так до вичерпання всіх спостережень. Таким чином, модель постійно пристосовується до нової інформації і до кінця періоду спостережень відображає тенденції об'єкта прогнозування, що склалися на даний момент.

Основною перевагою адаптивних методів є можливість отримати точний прогноз на інтервал більший, ніж, наприклад, при використанні методу експоненціального згладжування. Однак це справедливо лише при дуже довгих тимчасових рядах, що зумовило можливість застосування адаптивних методів для довгострокового прогнозування. Крім того, в даний час не існує методики оцінки обсягу необхідної і достатньої вихідної інформації для адаптивних моделей прогнозування, що ускладнює процес їх реалізації та роботи [40].

В роботі [42] розглянуто застосування методу експоненційного згладжування при середньостроковому та довгостроковому прогнозуванні електроспоживання на промислових підприємствах. Відмічено, що даний метод є досить надійним та ефективним, оскільки надає можливість отримати оцінку параметрів, які характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, отриману на момент останнього спостереження. Водночас, варіюючи значення параметра згладжування, можна враховувати ймовірність подій в прогнозі. Однак автором зроблено висновок, що розглянута методика не підходить для промислових підприємств, оскільки характер зміни виробництва підприємства в даний час не має постійних тенденцій.

В роботі [41] автор досліджує методику прогнозу електроспоживання промислового підприємства, засновану на застосуванні багатofакторних моделей, які враховують в якості вихідних даних, як виробничі показники підприємства, так і інші фактори. Число факторів, що використовуються для побудови моделі,

теоретично необмежено. Модель дозволяє не тільки розрахувати загальний прогнозований електроспоживання підприємства, а й визначити вагові коефіцієнти участі різних факторів. Методика забезпечує постійне вдосконалення моделі, що дає можливість відстежувати результати впровадження тих чи інших заходів з енергозбереження та підтримувати діючу на даний проміжок часу модель. Розроблена методика використовує лінійні моделі і заснована на побудові електричного і економічного балансів підприємства.

Прогноз електроспоживання промислового підприємства відбувається після виконання наступних процедур:

- попередній вибір змінних;
- доведення наявності зв'язку між залежними і незалежними змінними, остаточне формування масиву пояснюють змінних;
- розрахунок числових коефіцієнтів багатofакторної моделі;
- перевірка життєздатності моделі на ретроспективному матеріалі;
- розрахунок прогнозованого електроспоживання;
- визначення очікуваної помилки прогнозу.

Попередній вибір пояснюваних змінних проводиться шляхом експертних оцінок. Потім розраховують коефіцієнти кореляції залежної змінної від кожної незалежної і проводиться аналіз. До подальшого використання не допускаються незалежні змінні, для яких: абсолютне значення розрахованого коефіцієнта кореляції перевищує одиницю, знак розрахованого коефіцієнта кореляції не збігається з експертною оцінкою приватної похідною, розрахований коефіцієнт кореляції близький до нуля.

Відібрані після даної перевірки незалежні змінні можуть бути допущені до побудови багатofакторної моделі електроспоживання. Число остаточно прийнятих до складу моделі незалежних змінних залежить від зв'язків між ними. Всі незалежні один від одного змінні можуть бути прийняті для побудови моделі. Залежні (колінеарні) змінні теж можна використовувати, але при цьому застосовувати покрокове нарощування числа змінних в складі моделі. Спочатку будується

порівняно проста модель із застосуванням однієї, двох залежних змінних, оцінюється її ефективність. Потім наростає число змінних в моделі, і кожна нова модель порівнюється з отриманими раніше. Вибирається найбільш ефективна модель. Прогноз електроспоживання виконується шляхом підстановки в рівняння обраної моделі планових значень для прогнозованого проміжку часу. Використання прогнозних моделей, відпрацьованих для конкретного періоду, на наступний період використовувати не можна, знижується точність прогнозу. Прогноз робиться на квартал. Відзначено, що на прогноз впливає сезонність, в даному методі її використовують методом сезонної хвилі.

### **2.2.5 Штучні нейронні мережі**

Штучні нейронні мережі є сучасною технологією, яка використовується в безлічі дисциплін: статистиці, нейрофізіології, комп'ютерних науках, математиці, фізиці. Технологію використання нейронних мереж застосовують у різноманітних галузях, наприклад, розпізнавання образів, моделювання, в аналізі часових рядів, обробці сигналів і управлінні. Це можливо завдяки важливим властивості нейронних мереж - здатності самонавчатися використовуючи наявні дані, навчання може проводити вчитель або навчання може проходити без його втручання.

В даний час відомо велика кількість видів штучних нейронних мереж, кожен вид має свої характерні особливості і використовується для вирішення завдань певного виду [45 - 48].

Штучні нейронні мережі являють собою поєднання двох типів елементів: перший тип - нейрони, другий тип - зв'язки між нейронами. Нейрони - це прості процесори або елементи мережі, обчислювальні можливості яких діють в межах правил комбінування вхідних сигналів і правил активації. Це дозволяє нейронам обчислювати вихідний сигнал по комбінації вхідних сигналів. Сигнал елемента, отриманий на виході повідомляється іншим елементам по зваженим зв'язкам, з

кожним зв'язком яких пов'язаний ваговий коефіцієнт. Залежно від значення вагового сигналу сигнал, що передається буде посилений, або пригнічений [45].

На рисунку 2.2 представлено просту нелінійну модель нейрона:

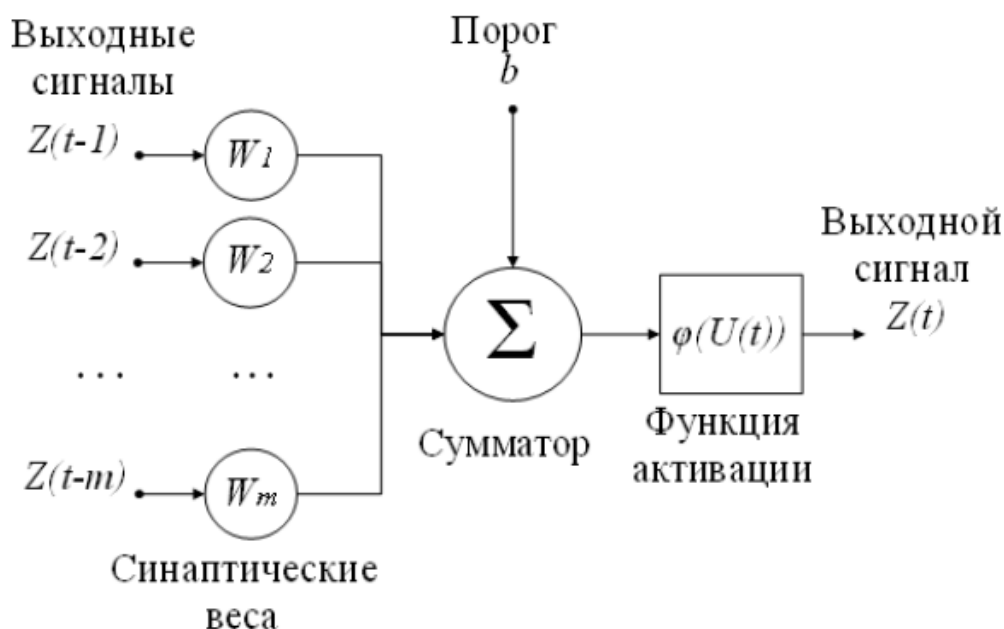


Рисунок 2.2 - Нелінійна модель нейрона

В представленій моделі знаходяться три основні елементи:

1. Набір зв'язків (синапсів), кожен з яких характеризується своїм ваговим коефіцієнтом. Сигнал  $Z_j$  на вході синапсу  $j$ , пов'язаного з нейроном  $m$ , множиться на вагу  $W_{mj}$ .

2. Суматор використовується для складання вхідних сигналів, які зважуються відносно вагових коефіцієнтів нейрона.

3. Для обмеження амплітуди вихідного сигналу нейронів використовується функція активації. Стандартний діапазон виходу нейрона зазвичай входить в інтервал  $[0,1]$  або  $[-1,1]$ .

Граничний елемент  $b_k$ , включений в модель нейрона, показує зменшення або збільшення сигналу на вході, що подається на функцію активації.

Отримана на виході суматора величина  $v_k$ , називається потенціал активації (індуковане локальне поле).

В математичному виді модель нейрона описують наступною парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj} x_j ; \quad (2.10)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k), \quad (2.11)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_m$  - вхідні сигнали;  $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{km}$  - синаптичні ваги нейрона  $k$ ;  $u_k$  - лінійна комбінація вхідних впливів;  $b_k$  - поріг;  $\varphi(u_k + b_k)$  - функція активації;  $y_k$  - вихідний сигнал нейрона.

Всі нейрони можна відносно розділити на три типи: вхідні нейрони, які отримують сигнали із зовнішнього середовища; вихідні нейрони, які виводять в зовнішнє середовище результати отримані після обчислень; приховані нейрони, основне призначення яких трансформація сигналів.

Для вирішення різних завдань широко застосовуються, відомі на сьогоднішній день, декілька різних видів штучних нейронних мереж: мережі на основі радикальних базисних функцій, багат шаровий персептрон, рекурентні нейронні мережі, карти самоорганізації.

Багат шаровий персептрон має здатність до навчання на власному досвіді, за рахунок чого має високу обчислювальну потужність. Багат шаровий персептрон має високу швидкість і точність, що важливо для прогнозування електроспоживання промислових підприємств, але, як і інші статистичні методи, має ряд недоліків, які унеможливають його використання на деяких підприємствах [43].

Штучні нейронні мережі мають такі переваги при використанні їх для побудови прогнозних моделей промислових підприємств [43]:

- нелінійність - можливість встановити складні нелінійні залежності досліджуваного об'єкта від вхідних параметрів, це забезпечує меншу помилку прогнозу, щодо інших методів;

- самонавчання - здатність мережі навчатись на наданих вихідних даних, самостійно визначати значущість кожного досліджуваного фактора, оцінювати його вплив на кінцеву величину досліджуваного об'єкта;

- адаптивність - при надходженні свіжих даних мережу можна навчити додатково, завдяки цьому є можливість гнучкого підстроювання під змінилися умови роботи на підприємстві;

- висока перешкодозахищеність - в разі відсутності деякої частини даних погіршується прогноз, але це відбувається меншою мірою, ніж при використанні інших методів прогнозування.

Штучні нейронні мережі мають такі недоліки: [43, 44]:

- складність при виборі числа прихованих шарів і визначенні кількості нейронів в шарі;

- складність при виборі необхідної швидкості навчання;

- можливий ефект «перенавчання» при навчанні нейронної мережі.

В теперішній час багато дослідників використовують метод штучних нейронних мереж в своїх роботах. Вони відзначають хороші прогнозні здібності і можливість динамічно підлаштовуватися до умов, що змінилися, проте недоліком є складність визначення оптимальної конфігурації та оптимального набору вхідних параметрів нейронної мережі. Крім того, більшість авторів лише обґрунтовують можливість прогнозування електроспоживання за допомогою нейронних мереж не надаючи практичних рекомендацій або методик по формуванню на їх основі діючих прогнозних моделей. В роботі [48] зроблено висновок, що точність прогнозу залежить від об'єму вхідних даних. Для отримання мінімальної похибки необхідно комбінувати різні способи нормування з врахуванням часу доби, дня тижня та сезону.

### 2.2.6 Метод головних компонент

Основна мета МГК полягає у виявленні невеликого числа гіпотетичних величин, відповідних значно більшій кількості вихідних або експериментальних чинників. Чинники повинні бути по можливості простими і досить точно описувати і пояснювати спостережувані величини. Таким чином, МГК є методом, що впорядковує задану хаотичність досліджуваного явища, який дозволяє генерувати нові гіпотези.

Метод головних компонент має деяку перевагу перед простими методами факторного аналізу, яка полягає в тому, що він здатний виявити достатню кількість характерних чинників при аналізі електроспоживання підприємства. Перевагою використання методу головних компонент перед груповим методом є те, що він не вимагає попереднього відбору груп елементарних ознак, а це дозволяє спростити аналіз. Метод головних компонент відрізняється від методу головних факторів простотою та логічною конструкцією, і в той же час на його прикладі стають зрозумілими загальна ідея і цільові установки числових методів факторного аналізу. [6].

На основі обчислених головних компонент можна побудувати більш просту і разом з тим найбільш інформативну систему опису електроспоживання об'єкту дослідження, оцінити силу причинно-наслідкового зв'язку між чинниками і виділеними головними компонентами, досліджувати можливості зміни аналізованих чинників під впливом головних компонент. Крім того, результати угруповання по головних компонентів можна використовувати для проведення порівняльного аналізу чинників, за рахунок яких підприємство домоглося найкращих результатів у зменшенні споживання електроенергії та підвищенні рівня енергоефективності. Це дозволяє виявити прогресивні тенденції підвищення ефективності використання виробничих ресурсів.

Метод головних компонент виявляє  $(k-1)$ -компоненту факторів, що пояснюють всю дисперсію і кореляції вихідних  $k$  випадкових величин; при цьому



компоненти будуються в порядку зменшення пояснюваної ними частки сумарної дисперсії вихідних величин, що дозволяє часто обмежитися декількома першими компонентами [7]. Перша головна компонента PC1 визначає такий напрямок в просторі вихідних чинників, за яким сукупність об'єктів (точок) має найбільший розкид (дисперсію). Друга головна компонента PC2 будується з таким розрахунком, щоб її напрямок був ортогональним напрямку PC1 і вона пояснювала якомога більшу частину залишкової дисперсії і т. д. аж до  $(k-1)$ -ої головної компоненти. Так як виділення головних компонент відбувається в порядку спадання з точки зору частки дисперсії, що пояснюється ними, то чинники, що входять в першу головну компоненту з великими коефіцієнтами, надають максимальний вплив на диференціацію досліджуваних об'єктів [6].

Таке перетворення дозволяє знижувати інформацію шляхом відкидання координат, відповідних напрямках з мінімальною дисперсією.

### **2.3 ZP-аналіз**

Під техноценозом розуміють обмежену в просторі і часі взаємопов'язану сукупність далі неподільних технічних об'єктів, об'єднаних слабкими зв'язками. В методиці оптимального управління електроспоживання під потенціюванням (від англ. "potential") розуміють процедуру, яка заключається у визначенні потенціалу енергозбереження, на величину якого на даному часовому інтервалі необхідно зменшити електроспоживання техноценозу без нанесення збитків нормальному функціонуванню об'єктів.

Доповненням до стандартної процедури потенціювання служить ZP-аналіз, під яким розуміють тонку процедуру оптимального управління споживанням електр енергії, яка здійснюється на етапі потенціювання для розробки ZP-плану енергозбереження техноценозу. Сам термін «ZP-аналіз» («зет-пе-аналіз») є скороченням від фрази «Аналіз за допомогою Z-потенціалу». В основі ZP-аналізу лежить методика оцінки Z-потенціалу, що відрізняється дворівневою системою.

Перший рівень - Z1-потенціал: в якості кінцевого розглядається ранговий параметричний розподіл, відповідний нижній межі змінного довірчого інтервалу, отриманого в процедурі інтервального оцінювання. Другий рівень - Z2-потенціал - коли в якості кінцевого розглядається ранговий параметричний розподіл, відповідний нижній межі змінного довірчого інтервалу, отриманого в процедурі інтервального оцінювання після ZP-нормування [49].

Як показано на рисунку 2.3 ZP-аналіз включає ZP-нормування і ZP-планування, які є основними елементами ZP-модуля. ZP-нормування має на меті визначення Z2-потенціалу техноценозу, що і є підготовчою процедурою до ZP-планування. Перед розрахунком необхідно виконати поглиблений аналіз структури техноценозу, виділити у ньому технологічні групи і визначити групові параметри. Далі обчислюється питоме електроспоживання в групах, визначаються ZP-норми і на їх основі перераховується електроспоживання об'єктів. Це дозволяє побудувати нові рангові розподіли по електроспоживанню і змінні довірчі інтервали, а потім розрахувати Z2-потенціал енергозбереження. Отримані Z1- і Z2-потенціали дозволяють перейти до заключного і головного елемента ZP-модуля - ZP-планування.

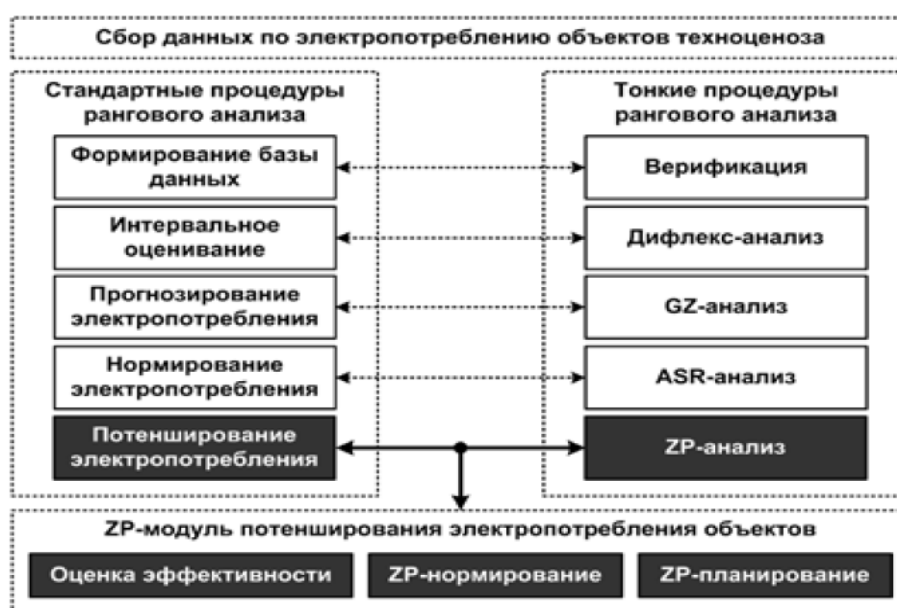


Рисунок 2.3 - Тонкі процедури оптимального управління електроспоживання техноценоза

ZP-аналіз дозволяє розробити для техноценозу ZP-план, який враховує стратегії енергозбереження, а також результати оцінки ефективності електроспоживання. Важливим елементом ZP-аналізу є моніторинг результативності енергозбереження, який здійснюється за допомогою показника конверсії [49].

## **2.4 Методи контролю ефективності споживання електричної енергії**

### **2.4.1 Контроль енергоефективності із застосуванням графіка кумулятивної суми**

У разі встановлення на будь-якому об'єкті більш складних «стандартів» електроспоживання, що являють собою лінійні або нелінійні багатофакторні рівняння регресії, застосовувати графічний спосіб контролю ефективності використання електричної енергії вже неможливо. У такому випадку для контролю досягнутих результатів енергозбереження в традиційних системах КіП використовують спеціальний графік, який в зарубіжній практиці називають графіком CUSUM (графіком кумулятивної суми). Цей графік (рис. 2.4) характеризує тенденцію зміни у часі (накопичення) результатів енергозбереження, фактично досягнутих на об'єкті [25 - 29].

Побудова графіка CUSUM ґрунтується на поступовому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та прогнозними (отриманими на основі відповідного «стандарту») обсягами електроспоживання на об'єкті. При цьому величина відхилення фактичного обсягу споживання електроенергії відносно встановленого для об'єкта «стандарту» споживання електроенергії для деякого  $i$ -го періоду контролю становить:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт}i} - W_{\text{пр}i}, \quad (2.12)$$

де  $W_{\text{факт}i}$  – фактичний обсяг споживання електроенергії за відповідний період;  
 $W_{\text{пр}i}$  – прогнозна величина електроспоживання за той же період, визначена за встановленим «стандартом».

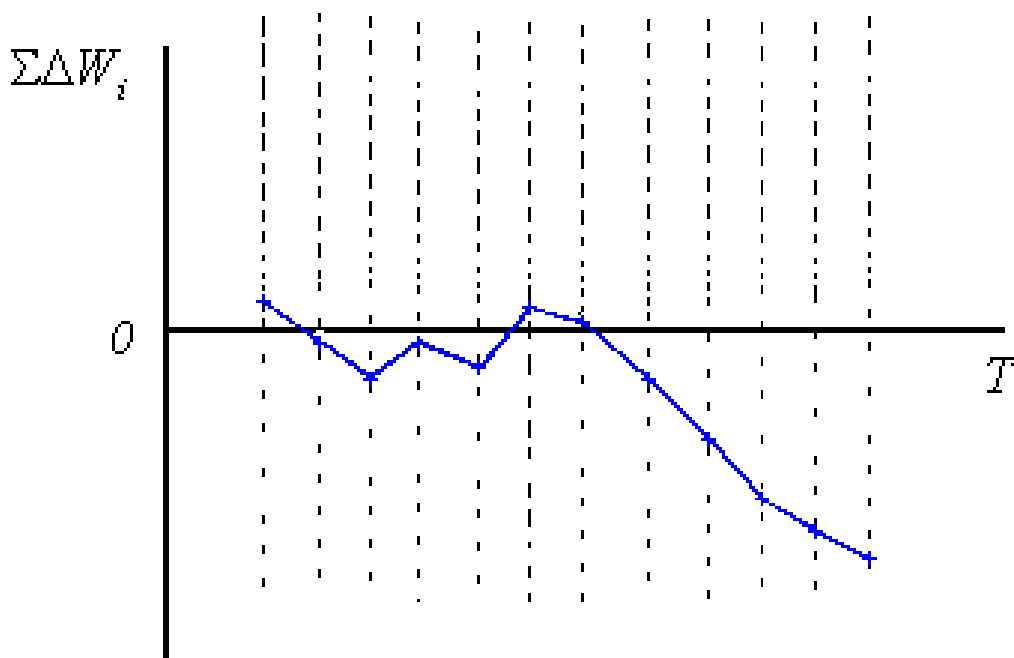


Рисунок 2.4 - Контроль зміни ефективності використання електричної енергії за допомогою побудови графіка CUSUM.

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати електроенергії  $\Delta W_i$  на  $k$ -му кроці контролю виконання встановленого «стандарту» електроспоживання потрібно розраховується за формулою

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (2.13)$$

де  $\Delta W_{\Sigma k}$  – сумарне відхилення споживання електричної енергії від його «стандартних» значень, отриманих протягом минулих  $k$  періодів контролю;  $\Delta W_i$  – відхилення електроспоживання від «стандартного» на  $i$ -му кроці контролю;  $\Delta W_{\Sigma k-1}$  – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання електроенергії від

«стандартних», отримане протягом минулих  $k-1$  періодів контролю;  $\Delta W_k$  – відхилення електроспоживання від його «стандартного» значення на  $k$ -му кроці контролю.

Методику побудови графіка кумулятивної суми [25 - 29] можна представлено на рисунку 2.5.

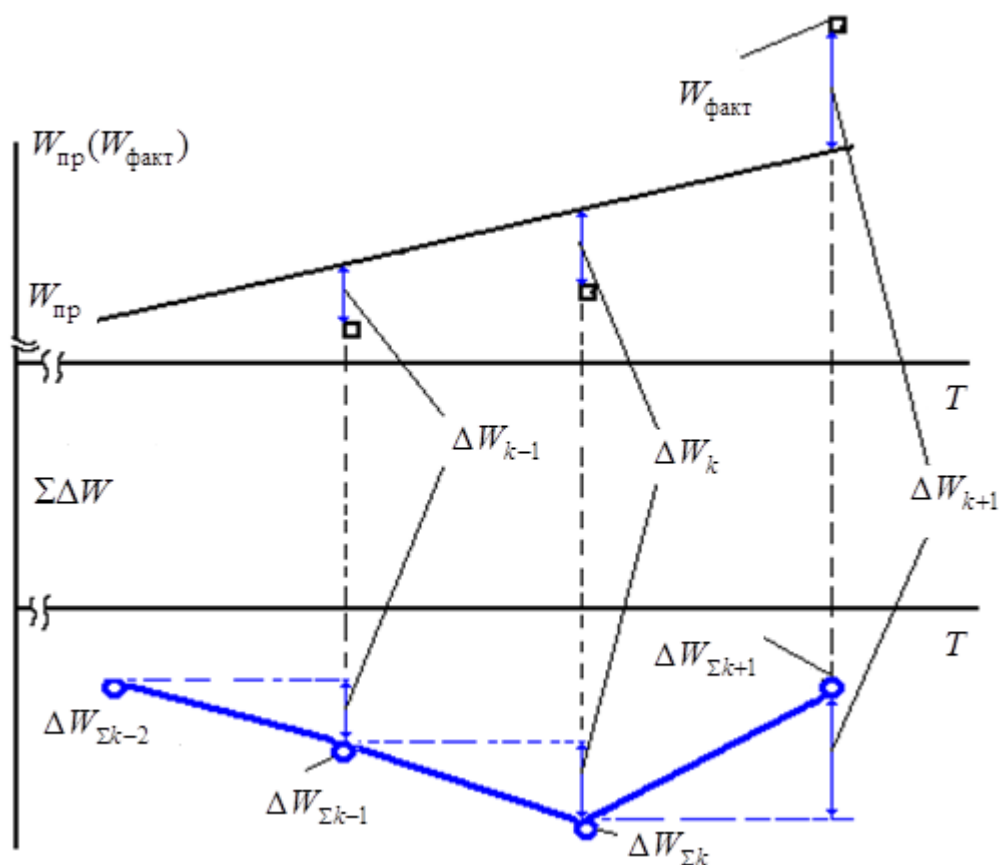


Рисунок 2.5 - Побудова графіка кумулятивної суми

Таким чином, графік кумулятивної суми має вигляд ламаної лінії (рис. 2.5), точки зламів якої відповідають розрахованим значенням  $\Delta W_{\Sigma k}$  (2.13). При цьому контроль результатів впровадження будь-якого заходу з енергозбереження з використанням графіка CUSUM також здійснюється візуально, на основі аналізу загальної тенденції зміни у часі величини кумулятивної суми.

Від’ємна величина  $\Delta W_{\Sigma k}$ , знайдена на кожному кроці контролю, свідчить про те, що встановлений «стандарт» електроспоживання виконується, а також на об’єкті

протягом відповідного періоду контролю досягнуто заплановане енергозбереження. Очевидно, що за такого, позитивного результату контролю втручатися персоналу в роботу об'єкта не потрібно, і в системі КіП може виконуватися наступний крок контролю енергоефективності.

Поява ж додатного значення величини  $\Delta W_{\Sigma k}$  на будь-якому кроці контролю свідчить про те, що за відповідний період часу встановлений «стандарт» не був виконаний, тобто заплановане енергозбереження на об'єкті не було досягнуте. За такого від'ємного результату контролю потрібне обов'язкове оперативне втручання в роботу об'єкта персоналу, завданням якого є виявлення та усунення причин невиконання встановленого «стандарту» споживання електричної енергії. Як показує практика, основними з таких причин можуть бути людський фактор (тобто невиконання співробітниками своїх обов'язків, пов'язаних з реалізацією запланованого заходу енергозбереження на об'єкті), поява деяких об'єктивних причин, що призвели до невиконання «стандарту» електроспоживання або до зменшення обсягу енергозбереження (наприклад, зміна якості сировини або матеріалів, параметрів технологічного процесу чи зовнішніх умов виробництва).

Однією з причин невиконання встановленого «стандарту» споживання електричної енергії може бути недосконалість самого «стандарту», у якому, починаючи з деякого часу, можуть не враховуватися стабільні об'єктивні зміни, що відбулися на об'єкті. Тобто однією з можливих дій персоналу у випадку появи від'ємного результату контролю ефективності використання електроенергії може бути встановлення нового «стандарту» електроспоживання для об'єкта.

Періодично встановлювати новий «стандарт» електроспоживання можливо і доцільно також у разі додатніх результатів контролю за умови, що на об'єкті протягом досить тривалого часу спостерігається стабільне енергозбереження, тобто за допомогою реалізованого на об'єкті заходу енергозбереження систематично досягають очікуваного результату. При цьому графік кумулятивної суми має стійку тенденцію до зниження, наприклад, як на рисунку 2.4.

У цьому випадку новий «стандарт» споживання електричної енергії встановлюється на підставі фактичних обсягів електроспоживання, досягнутих на об'єкті в результаті впровадження відповідного заходу енергозбереження. Після цього на об'єкті виявляється і реалізується наступний захід енергозбереження і процес контролю результатів його впровадження здійснюється вже за новим «стандартом».

#### **2.4.2 Контроль енергоефективності із застосуванням графіка кумулятивної суми та кута V-маски**

Графік кумулятивних сум застосовують у разі встановлення на будь-якому об'єкті «стандартів» енергоспоживання, що являють собою більш складну, багатofакторну регресійну модель. На даному графіку відображаються значення кумулятивної (накопиченої) суми відхилень фактичного енергоспоживання від значень, отриманих на основі відповідного «стандарту» [50].

V-маска представляє собою верхню та нижню контрольні границі, що утворені двома прямими, які сходяться під визначеним кутом і утворюють в результаті фігуру, у вигляді повернутої букви V. Від останньої з нанесених на карту точок відкладається величина  $d$  та кут  $\theta$  (рисунок 2.6), де загальний кут V-маски складає  $2\theta$ . Якщо графік накопиченої суми перетинає будь-яку із контрольних границь, то процес вважається таким, що вийшов із під контролю. На вертикальній осі відкладаються значення величини цільової функції, на горизонтальній – номери контролю.

Для розрахунку параметрів маски (величин  $d$  і  $\theta$ ) використовуються методи послідовного аналізу. Перевіряється нульова гіпотеза  $H_0: \mu = \mu_0$  при альтернативі  $H_1: \mu = \mu_0 \pm \Delta$ .

Відношення подібності має вигляд:

$$LQ = \frac{L(\bar{x} | \mu_0 \pm \Delta)}{L(\bar{x} | \mu_0)} = \frac{\prod_{i=1}^t f(\bar{x} | \mu_0 \pm \Delta)}{\prod_{i=1}^t f(\bar{x} | \mu_0)}, \quad (2.14)$$

де  $L(\bar{x} | \mu_0)$  - функція подібності у випадку справедливості нульової гіпотези;  
 $f(\bar{x} | \mu_0)$  - відповідна густина розподілення.

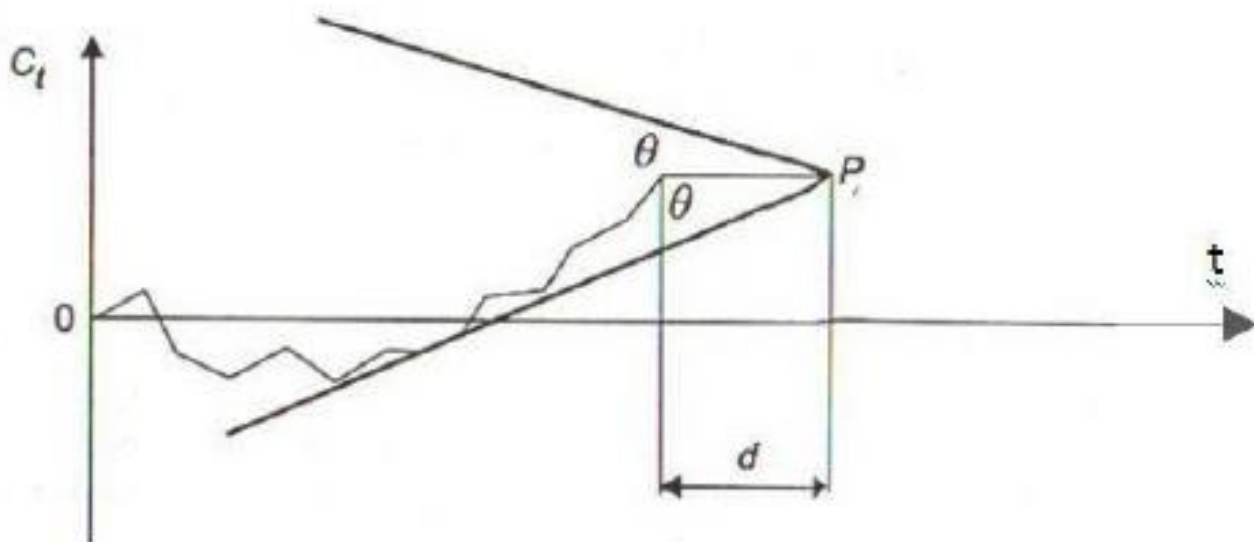


Рисунок 2.6 – Контрольна карта кумулятивних сум з використанням V-маски

Нульова гіпотеза приймається, якщо  $LQ \leq A = \frac{\beta}{1 - \alpha/2}$ ; при  $LQ \geq B = \frac{1 - \beta}{\alpha/2}$  нульова гіпотеза відхиляється: приймається альтернативна гіпотеза  $H_1$  (де  $\alpha$  і  $\beta$  – імовірності помилок першого і другого роду; використовується двосторонній критерій, тому рівень значимості рівний  $\alpha/2$ ). При  $A < LQ < B$  контроль продовжується.

Для нормального розподілення з урахуванням  $\bar{X} \cap N(\mu, \sigma^2/n)$

$$f(\bar{x}_i | \mu_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi/n}\sigma} \exp\left[-\frac{(\bar{x} - \mu_0)^2 n}{2\sigma^2}\right], \quad (2.15)$$



де  $n$  -об'єм миттєвої виборки.

Відношення подібності (3.16) з урахуванням, що  $\Delta = \delta\sigma$  і  $C_t = \sum_{i=1}^t (\bar{X} - \mu_0)$ ;

$t = 1, \dots, m$ , де  $m$  – кількість миттєвих вибірок.

$$LQ = \exp \left[ \left[ \sum (\bar{x}_i - \mu_0)^2 - \sum (\bar{x}_i - \mu_0 \pm \Delta)^2 \right] n / 2\sigma^2 \right] = \exp \left[ -nt\delta^2 / 2 \pm n\delta C_t / \sigma \right] \quad (3.16)$$

Логарифм відношення подібності для обмеженої ситуації, коли відхиляється нульова гіпотеза, або контроль продовжується  $\ln LQ = \ln \frac{1-\beta}{\alpha/2}$  маємо:

$\ln LQ = -nt\delta^2 / 2 \pm n\delta C_t / \sigma = \frac{1-\beta}{\alpha/2}$ , звідки положення границь V-маски визначається відношенням

$$C_t = \pm t\delta\sigma / 2 \pm (\sigma / n\delta) \ln \frac{1-\beta}{\alpha/2}, \quad (2.17)$$

тобто отримали рівняння прямих, що перетинаються в точці Р (рисунок 2.7).

При цьому:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{2\sigma}{2} = \frac{\Delta}{2} \quad (2.18)$$

$$b = \frac{\sigma}{n\delta} \ln \frac{1-\beta}{\alpha/2} \quad (2.19)$$

$$d = \frac{b}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{2}{n\delta^2} \ln \frac{1-\beta}{\alpha/2} \quad (2.20)$$

При виконанні V-маски застосовують обернено направлений LQ-критерій (рисунок 2.4). З урахуванням масштабу координатних осей ( $f$  одиниць по осі  $C_t$  відповідають одній одиниці по осі  $t$ )

Отримаємо параметри V-маски:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{2\sigma}{2f} = \frac{\Delta}{2f} \quad (2.21)$$

$$d = \frac{2}{n\delta^2} \ln \frac{1-\beta}{\alpha/2} \quad (2.22)$$

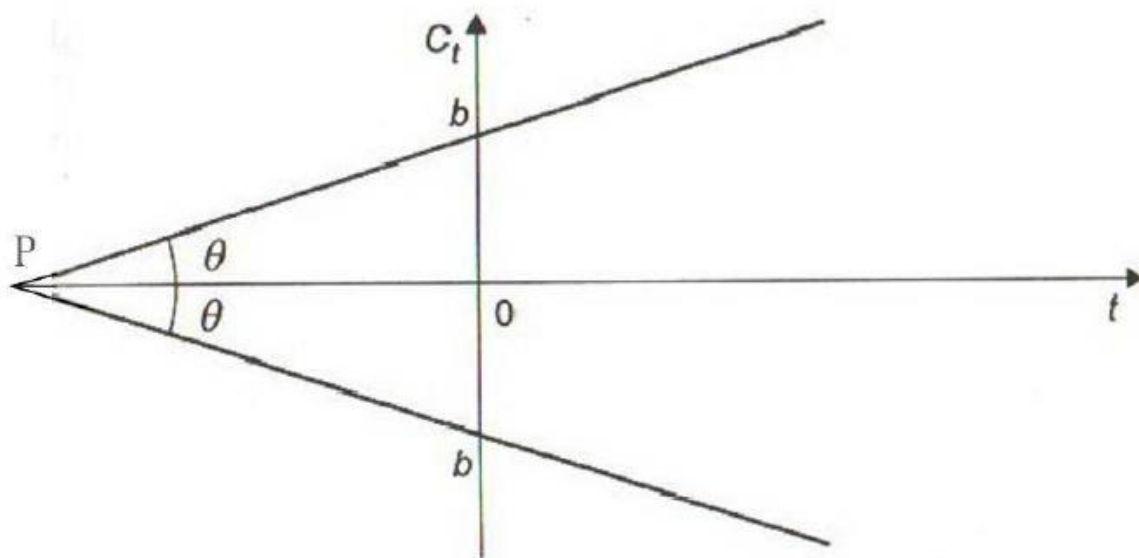


Рисунок 2.7 - Параметри V-маски

Значення  $\beta$  зазвичай досить незначне і їм можна знехтувати без втрати цілісності розрахунку. Тоді з виразу (2.22) отримаємо:

$$d = \frac{2}{n\delta^2} \ln \frac{\alpha}{2} \quad (2.23)$$

При побудові такого графіка кумулятивних сум зазвичай навіть постійні незначні зрушення середнього значення відхилень від планових значень призводять до накопичення досить відчутної суми відхилень. Тому даний тип контрольних карт особливо добре підходить для виявлення малих постійних зрушень процесу, які можуть лишитися непоміченими при застосуванні інших видів контрольних карт.

## Висновок до розділу 2

1. В даний час існує велика кількість методів прогнозування споживання електроенергії. Для вибору оптимального методу для побудови на його основі прогнозної моделі електроспоживання промислового підприємства необхідно чітко сформулювати ряд вимог, а саме: мету прогнозу, інтервал прогнозування, точність прогнозу, адаптивність прогнозної моделі та інше.

2. Точність прогнозу визначається виходячи з характеристик підприємства. Підвищення точності прогнозування призводить до ускладнення прогнозної моделі, а отже, до подорожчання її програмної та апаратної реалізації. Дане питання вирішується на основі порівняння витрат на електроенергію та витрат на програмно-апаратний комплекс прогнозування електроспоживання.

3. Споживання електроенергії може залежити від множини змінних чинників. Оптимальна модель прогнозування повинна враховувати якомога більше чинників. Чинники можуть бути взаємопов'язаними та залежати один від одного. Для підвищення точності прогнозу необхідно виконати попередній аналіз.

4. Огляд робіт по прогнозуванню споживання електроенергії промисловими підприємствами показав, що немає одного методу, який би ідеально описував всі особливості підприємства та враховував всі чинники, які впливають на зміни споживання електроенергії.

5. На виконання поставленого завдання в даній роботі для дослідження за основу було обрано два методи прогнозування, а саме: регресійний аналіз та метод головних компонент.

## РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВСТАНОВЛЕНОГО РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СОЛОДОВОГО ЦЕХУ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА АЛКОГОЛЬНИХ ТА БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ

### 3.1 Енергетичний аналіз даних для оцінювання рівня енергоспоживання

Загальний річний обсяг розрахункового корисного споживання електроенергії для солодового цеху становить 3400,21 МВт·год [51].

В таблиці 3.1 наведено баланс споживання електричної енергії споживачами цеху. На рисунку 3.1 представлено структуру корисного споживання електричної енергії солодовим цехом у вигляді діаграми [51].

Таблиця 3.1 - Баланс споживання електричної енергії споживачами цеху

Обладнання	Споживання електроенергії	
	кВт·год	%
Основне технологічне обладнання	3217363	94
Допоміжне загальноцехове обладнання (освітлення, вентиляція, кондиціонування та ін.)	182849	5
Втрати в кабельних лініях	12305	1
Всього	3412517	100

Загальний обсяг споживання електроенергії за даними обліку складає 3412517 кВт·год із врахуванням втрат в кабельних лініях. На представленій діаграмі видно, що найбільша частка споживання електроенергії (94%) припадає на основне технологічне обладнання для виробництва солоду. Отже доречним буде більш детальний аналіз витрат електроенергії обладнанням, яке задіяне у цьому технологічному процесі.

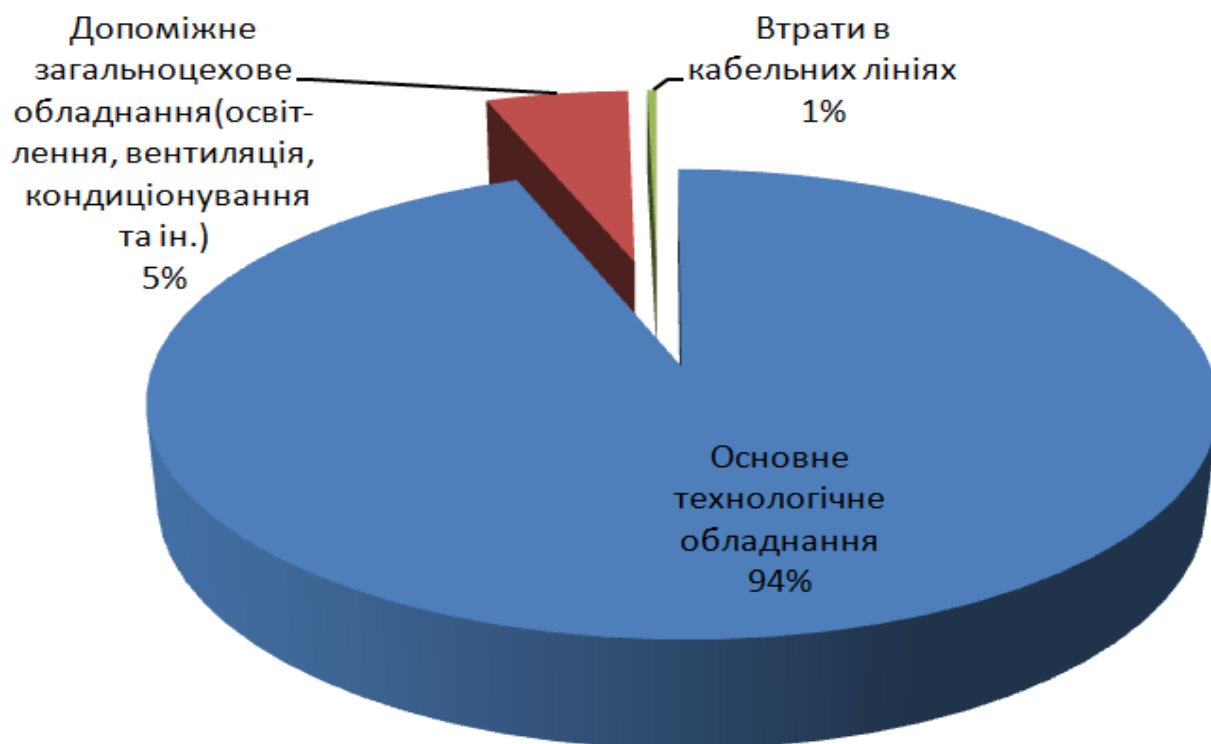


Рисунок 3.1 - Структура корисного споживання електроенергії цехом солодового виробництва

В таблиці 3.2 наведено баланс споживання електричної енергії основним технологічним обладнанням солодового цеху. На рисунку 3.2 представлено структуру корисного споживання електричної енергії технологічним обладнанням для виробництва солоду у вигляді діаграми, яка свідчить, що найбільшими споживачами електроенергії при виробництві солоду є вентилятори (71%) та димосос (14%). Всі інші споживачі електроенергії мають значно меншу частку споживання.

Проаналізувавши отриманий результат, у зв'язку з тим, що вентиляторні установки основного технологічного устаткування цеху споживають значну частину електричної енергії, в даній роботі пропонується дослідити споживання електроенергії у вентиляторних установках основного технологічного обладнання солодового цеху. Для виконання оцінки та контролю електроспоживання обрано вентилятор карусельної сушарки типу КС-45.

Таблиця 3.2 - Баланс енергоспоживання основного технологічного обладнання

Обладнання	Споживання електроенергії	
	кВт·год	%
Стрічкові транспортери	74764,8	2
Конвеєри	66435,16	2
Насоси	39534	1
Вентилятори	2266128,2	71
Димосос	458304	14
Електроприводи	30125,76	1
Інше допоміжне обладнання (норії, шнеки, зворощувачі та ін.)	282071	9
Всього	3217362,808	100

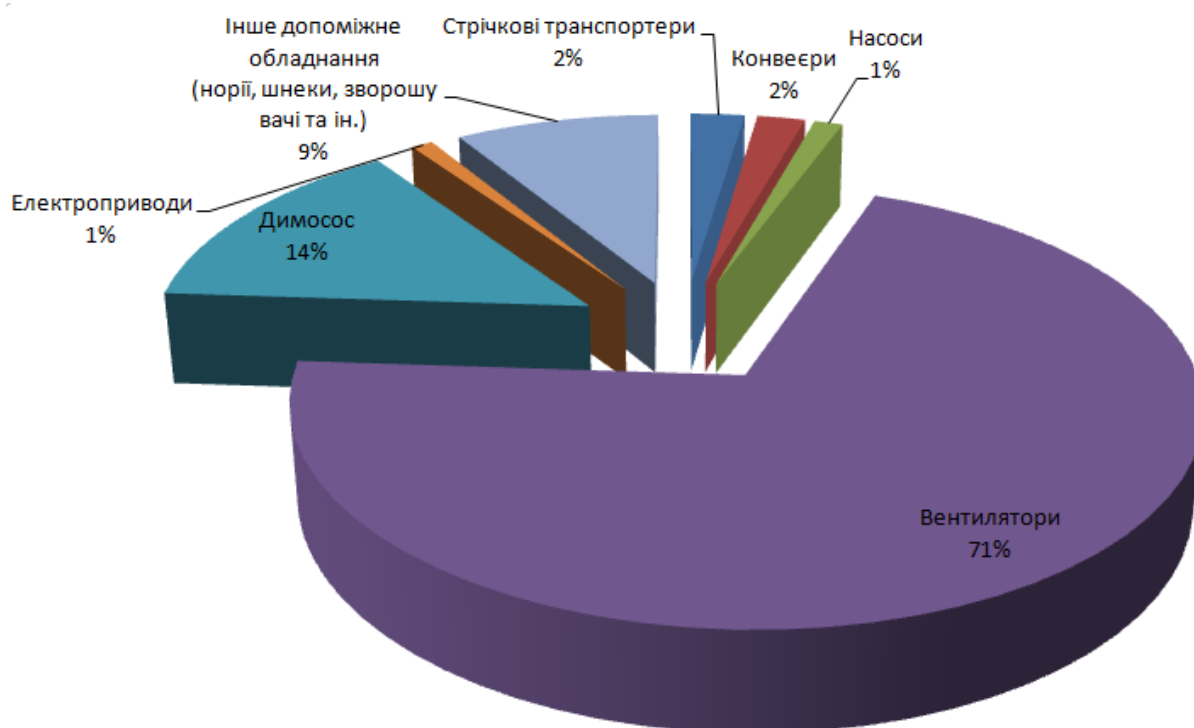


Рисунок 3.2 – Структура корисного споживання електроенергії за групами споживачів електроенергії в солодовому цеху

### ***Вибір змінних, які впливають на споживання електроенергії***

Для вирішення задачі відбору інформативних ознак необхідно визначити чинники, які не несуть корисної інформації в контексті вирішення поставленої задачі. До розгляду обрано чинники, параметри яких можна визначити в період

роботи карусельної сушарки. За методом експертних оцінок було опитано фахівців та технічних працівників підприємства, в результаті чого з перелічених чинників визначено такі, які можуть впливати на споживання електроенергії в процесі роботи карусельної сушарки, а саме: продуктивність сушарки (т/добу); продуктивність вентилятора ( $\text{м}^3/\text{год}$ ); вологість зеленого солоду (%); вологість готового солоду (%); відносна вологість зовнішнього повітря (%); температура солоду на вході в сушарку ( $^{\circ}\text{C}$ ); температура солоду на виході з сушарки ( $^{\circ}\text{C}$ ); зовнішня температура повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ); атмосферний тиск (мм. рт. ст.); тиск пари на вході в калорифер ( $\text{кгс}/\text{м}^2$ ); швидкість пари на вході в калорифер (м/с); статистичний тиск пари на вході у вентилятор (мм. вод. ст.); статистичний тиск пари на виході з вентилятора (мм. вод. ст.). В результаті аналізу отриманих значень показників, з дослідження було вилучено чинники, значення яких є постійними [51].

Для проведення аналізу запропонованими методами дослідження обрано наступні чинники, які впливають на споживання електроенергії:

- X1 - продуктивність сушарки (т/добу);
- X2 - продуктивність вентилятора ( $\text{м}^3/\text{год}$ );
- X3 - вологість зеленого солоду (%);
- X4 - відносна вологість зовнішнього повітря (%);
- X5 - температура солоду на вході в сушарку ( $^{\circ}\text{C}$ );
- X6 - зовнішня температура повітря ( $^{\circ}\text{C}$ );
- X7 - атмосферний тиск (мм. рт. ст.);
- X8 - статистичний тиск пари на вході у вентилятор (мм. вод. ст.).

## **3.2 Оцінювання і встановлення рівня енергоефективності з використанням базового рівня**

### **3.2.1 Критерії створення математичної моделі**

Для прогнозування споживання електроенергії відома велика кількість статистичних методів. Щоб отримати точний прогноз недостатньо застосовувати

один метод. Для досягнення необхідної точності, зазвичай використовують декілька методів. Для отримання прогнозу з заданою точністю обирають таку сукупність методів, яка може враховувати специфіку підприємства. В результаті розгляду методів прогнозування для різних підприємств встановлено, що всі методи умовно можна розбити на п'ять груп, в залежності від загальних принципів дії: прогнозна екстраполяція, регресійний аналіз, адаптивні методи прогнозування, прогнозування з використанням гібридних систем, техноценоз.

#### ***Вимоги до методу:***

- не повинен містити суб'єктивну оцінку при розрахунку результуючих показників;
- повинен враховувати якомога більшу кількість чинників, які впливають на споживання електроенергії;
- інформація, на якій базується розрахунок споживання електроенергії повинна бути достовірною;
- розроблений метод повинен бути математично обґрунтованим. [6]

#### ***Вимоги до моделі***

Прогнозна модель об'єкта являє собою систему рівнянь (формул) з коефіцієнтами, які формуються в процесі розробки моделі на стадії якісного моделювання. На основі представлених даних прогнозна модель передбачає величину вихідного параметра. Прогноз з використання прогновної математичної моделі об'єкта є об'єктивно і науково обґрунтованим.

При вирішенні задачі прогнозування електроспоживання промислового підприємства об'єктом прогнозування є саме електроспоживання підприємства як сукупність процесів споживання електроенергії всіма електроприймачами підприємства. Вихідним параметром прогновної моделі є величина споживаної електричної потужності в той чи інший момент часу або споживаної електроенергії за той чи інший проміжок часу. Для промислового підприємства, що працює в умовах оптового ринку електроенергії, вихідним параметром є величина погодинного електроспоживання в кожен годину доби, на якій здійснюється



прогнозування. Вхідними параметрами прогнозової моделі є параметри, які в тій чи іншій мірі впливають на величину електроспоживання.

В основі прогнозової моделі лежить метод прогнозування. Цей метод визначає набір алгоритмів і формул, на підставі яких буде прогнозуватись поведінка об'єкта прогнозування. На вибір методу, що лежить в основі прогнозової моделі, впливають цілі і завдання прогнозування, а також величина інтервалу часу, на який виконується прогнозування [52].

Після визначення методу прогнозування з використанням того чи іншого математичного апарату визначаються раніше невідомі параметри прогнозової моделі - залежності вихідного параметра моделі від вихідних параметрів. Фактично при створенні прогнозової моделі електроспоживання визначаються закономірності зміни вихідного параметра моделі від вхідних параметрів. Фактично при створенні прогнозової моделі електроспоживання визначаються закономірності зміни вихідного параметра (величини електроспоживання) в залежності від параметрів, вибраних в якості вхідних.

При вирішенні задачі прогнозування погодинної величини електроспоживання промислового підприємства, що працює на оптовому ринку електроенергії, до прогнозової моделі електроспоживання ставляться такі вимоги [52]:

1. Модель повинна задовольняти вимогам адаптивності і еволюційності. Вона повинна забезпечувати можливість включення досить широкого діапазону змін, доповнень, щоб було можливо послідовне наближення до моделі, що задовольняє точність результатів прогнозування.

2. Модель повинна бути досить абстрактною, щоб допускати роботу з великою кількістю вхідних параметрів, але при цьому, не настільки, щоб виникали сумніви в надійності і практичній користі отриманих на ній результатів прогнозу.

3. Прогнозна модель повинна забезпечувати формування прогнозу до заданого терміну, після отримання попередніх прогнозних вхідних даних.

4. Модель повинна адаптуватися на реалізацію за допомогою відповідних технічних засобів, тобто бути фізично здійсненою на даному рівні розвитку техніки.

5. Модель повинна передбачати можливість перевірки істинності, відповідно її оригіналу.

Існує два етапи для визначення оцінки прогностичних здібностей моделі об'єкта: прогнозування минулих періодів часу і робота в дослідній експлуатації. На першому етапі модель будується не на всіх наявних вихідних даних, а на так званій навчальній ("обучающейся") вибірці, з якої виключається декілька останніх точок - це називається тестова вибірка. Потім за допомогою розробленої математичної моделі будується прогноз по відповідним інтервалам часу, на які припадає тестова вибірка і дається оцінка прогностичним здібностям створеної моделі, оцінюючи різницю між вихідними фактичними і отриманими в результаті прогнозу значеннями.

Модель, яка пройшла перший етап із задовільною оцінкою прогностичних здібностей вводиться в дослідну експлуатацію. Тепер модель розраховує прогнозні значення в чистому вигляді. У міру настання майбутнього, отримані значення прогнозу порівнюються з його практичними значеннями і оцінюється ефективність роботи моделі.

### **3.2.2 Підготовка вихідних даних для аналізу**

Енергетичні дані карусельної сушарки представлено в таблиці 3.3.

При проведенні аналізу зв'язку між явищами широко застосовується кореляція та регресія. Кореляційний аналіз полягає у визначенні ступеню зв'язку між величинами.

Таблиця 3.3 - Енергетичні дані карусельної сушарки

Номер спос-тереження	Продуктивність сушарки (т/добу)	Продуктивність вентилятора (м³/год)	Вологість зеленого солоду (%)	Відносна вологість зовнішнього повітря (%)	Температура солоду на вході в сушарку (°C)	Зовнішня температура повітря (°C)	Атмосферний тиск (мм.рт.ст.)	Статистичний тиск пари на вході у вентилятор (мм.вод.ст.)	Споживання електроенергії (кВт*год)/добу (березень)	Споживання електроенергії (кВт*год)/добу (квітень)
№	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y	Y'
1	38	98317	44	59	12	-7	756	54	2616	2480
2	37	95656	46	20	14	-1	752	53	2466	2407
3	38	98213	43	77	12	-6	748	52	2612	2474
4	35	90124	45	100	14	-2	746	53	2342	2507
5	37	95256	46	100	14	-1	743	52	2456	2474
6	36	92059	46	100	15	1	741	54	2360	2521
7	39	99897	46	100	14	-1	739	53	2568	2443
8	38	96857	43	93	15	2	745	51	2463	2329
9	37	94843	46	100	14	0	745	52	2436	2312
10	37	94114	44	100	15	3	740	51	2388	2378
11	34	86635	44	100	15	2	741	53	2218	2204
12	33	85617	46	100	15	1	746	53	2206	2303
13	35	90434	46	93	15	1	746	53	2321	2288
14	36	92546	45	100	15	2	744	52	2361	2345
15	38	97318	41	75	16	4	748	51	2453	2414
16	38	98124	42	65	17	6	747	52	2454	2406
17	35	89375	43	87	16	4	742	51	2264	2247
18	35	90489	43	87	16	4	748	52	2291	2295
19	34	86739	41	70	17	5	749	51	2190	2382
20	36	93075	42	80	15	2	752	53	2371	2350
21	37	94861	46	86	15	1	758	51	2428	2304
22	39	101376	46	78	15	1	756	53	2584	2527
23	37	94987	42	72	16	4	754	53	2398	2439
24	38	97412	42	79	16	5	752	52	2446	2384
25	38	98132	43	85	15	3	749	53	2483	2342
26	37	95236	44	100	16	6	746	51	2386	2428
27	39	101032	45	100	15	2	745	53	2565	2410
28	39	99867	40	51	17	5	766	52	2504	2352
29	40	102862	42	63	18	7	762	51	2559	2486
30	39	99833	41	70	18	6	759	51	2495	2445

Коефіцієнт парної кореляції - це міра тісноти лінійного зв'язку між двома змінними, яка оцінюється за вибіркою з  $n$  пов'язаних пар спостережень  $(x_i; y_i)$  із загальної сукупності  $X$  та  $Y$ . Дані показники було оброблено в програмному

забезпеченні MS Excel пакет "Аналіз даних". В таблиці 3.4 наведено результат кореляційного аналізу.

Таблиця 3.4 - Результати виконання кореляційного аналізу

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1	0,9928	-0,2296	-0,3349	0,1012	0,0715	0,4556	-0,1393
X2	0,9928	1	-0,1901	-0,3515	0,0626	0,0303	0,4734	-0,0763
X3	-0,2296	-0,1901	1	0,4209	-0,5964	-0,5502	-0,4574	0,4403
X4	-0,3349	-0,3515	0,4209	1	-0,1793	-0,0549	-0,6823	0,0076
X5	0,1012	0,0626	-0,5964	-0,1793	1	0,9540	0,3597	-0,5203
X6	0,0715	0,0303	-0,5502	-0,0549	0,9540	1	0,2030	-0,5420
X7	0,4556	0,4734	-0,4574	-0,6823	0,3597	0,2030	1	-0,1179
X8	-0,1393	-0,0763	0,4403	0,0076	-0,5203	-0,5420	-0,1179	1

Для оцінки мультиколінеарності факторів необхідно обчислити визначник кореляційної матриці (3.1).

$$\det(r_{xx}) = \begin{vmatrix} r_{x_1x_1} & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_8} \\ r_{x_2x_1} & r_{x_2x_2} & \dots & r_{x_2x_8} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_8x_1} & r_{x_8x_2} & \dots & r_{x_8x_8} \end{vmatrix} = 0. \quad (3.1)$$

Визначник матриці дорівнює нулю. Отриманий результат вказує на повну лінійну залежність та мультиколінеарність факторів.

### 3.2.3 Модель на основі регресійного аналізу

Регресійним аналізом називається статистичний метод визначення залежностей випадкової величини  $y$  від змінних або аргументів  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ), які незалежно від істинного закону розподілу  $x_j$  розглядаються в регресійному аналізі як не випадкові величини. В загальному випадку роблять припущення, що випадкова величина  $y$  має нормальний закон розподілу і умовне математичне очікуванням

$y = \varphi(x_1, \dots, x_k)$ , яке є функцією від змінних  $x_j$  з постійною, що не залежить від змінних дисперсією  $\sigma_2$ .

Для виконання регресійного аналізу на  $(k + 1)$ -мірній генеральній сукупності  $(y, x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_k)$  береться  $n$ -розмірна, і кожне  $i$ -те спостереження характеризується значеннями змінних  $(y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik})$ , де  $x_{ij}$  - значення  $j$ -тої змінної для  $i$ -того спостереження ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $y_i$  - значення результативної ознаки для  $i$ -того спостереження.

Найчастіше використовувана множинна лінійна модель регресійного аналізу має вигляд (3.2):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_j x_{ij} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (3.2)$$

де  $\beta_j$  - параметри регресійної моделі;  $\varepsilon_j$  - випадкові помилки спостереження, незалежні один від одної. Такі помилки мають нульову середню і дисперсію  $\sigma_2$ .

Модель вважається справедливою для всіх  $i = 1, 2, \dots, n$ , лінійною відносно невідомих параметрів  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_j, \dots, \beta_k$  та аргументів.

З моделі 3.2 випливає, що коефіцієнт регресії  $\beta_j$  визначає, на яку в середньому величину зміниться результативна ознака  $y$ , якщо змінну  $x_j$  збільшити на одиницю виміру, тобто є нормативним коефіцієнтом.

В матричній формі регресійна модель представлена у вигляді:

$$y = x\beta + \varepsilon, \quad (3.3)$$

де  $y$  - випадковий вектор-стовпчик розмірності  $(n * 1)$  спостережуваних значень результативної ознаки  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ;  $x$  - матриця розмірності  $(n * (k + 1))$  спостережуваних значень аргументів, кожен елемент матриці  $x$ , вважається не випадковою величиною ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 0, 1, \dots, k; x_{0i} = 1$ );  $\beta$  - вектор-стовпчик розміром  $(k + 1) * 1$  невідомих, які підлягають оцінці параметрів моделі (коефіцієнтів регресії);  $\varepsilon$  - випадковий вектор-стовпчик розмірності  $(n * 1)$  помилок

спостережень, так званих залишків. Компоненти вектора  $\varepsilon_i$  не залежать один від одного і мають нормальний закон розподілу з нульовим математичним очікуванням ( $M\varepsilon_i = 0$ ) і невідомою постійною  $\sigma_2$  ( $D\varepsilon_i = \sigma_2$ ).

$$x = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{i1} & \dots & x_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_j \\ \dots \\ \beta_k \end{pmatrix}. \quad (3.4)$$

За наявності вільного члена в моделі вказуються одиниці в першому стовпчику матриці  $x$  (3.2). Допускається, що є змінна  $x_0$ , яка у всіх спостереженнях дорівнює одиниці.

Метою регресійного аналізу є знаходження за вибіркою обсягу  $n$  оцінки невідомих коефіцієнтів регресії  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  моделі (3.2) або вектора  $\beta$  в (3.4).

Так як в регресійному аналізі  $x_j$  розглядаються як не випадкові величини, а  $M\varepsilon_i = 0$ , то згідно (3.2) рівняння регресії має вигляд:  $y = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_j x_{ij} + \dots + \beta_k x_{ik}$  для всіх  $i = 1, 2, \dots, n$ , або в матричній формі:  $y = x\beta$ , де  $y$  - вектор-стовпчик з елементами  $y_1, \dots, y_i, \dots, y_n$ .

Для розрахунку оцінки вектора-стовпчика  $\beta$  найчастіше використовують метод найменших квадратів. Відповідно до цього методу в якості оцінки обирають вектор-стовпчик  $b$ , який мінімізує суму квадратів відхилень спостережуваних значень  $y_i$  від модельних значень  $\gamma_i$ , або квадратичну форму:

$$\theta = (y - x\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - \gamma_i)^2 \xrightarrow{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k} \min, \quad (3.5)$$

Спостережувані і модельні значення результативної ознаки у представлені на рисунку 3.3.

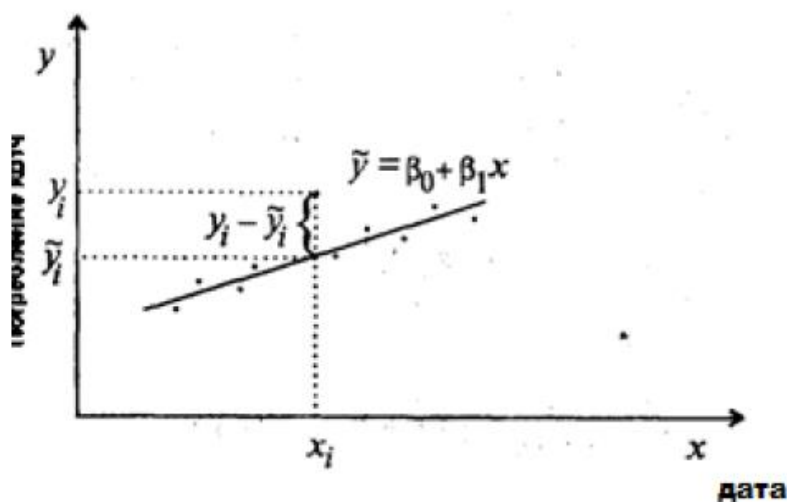


Рисунок 3..3 - Спостережувані і модельні значення результативної ознаки у

Диференціюючи квадратичну форму  $Q$  по  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ , з урахуванням (3.4) і (3.5), і прирівнюючи часткові похідні до нуля, в результаті отримуємо систему нормальних рівнянь:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \beta_j} = 0, \text{ для всіх } j = 0, 1, \dots, k, \quad (3.6)$$

Вирішуючи цю систему отримуємо вектор-стовпчик оцінок  $b$ , де  $b = (b_0, b_1, \dots, b_k)^T$ . За методом найменших квадратів, вектор-стовпчик оцінок коефіцієнтів регресії обчислюється за формулою:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3.7)$$

$$b = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_j \\ \dots \\ b_k \end{pmatrix}, \quad (3.8)$$

де  $X^T$  - транспонована матриця  $X$ ;

$(X^T X)^{-1}$  - матриця, зворотна матриці  $X^T X$ .

Отримавши значення вектора-стовпчика  $b$  і оцінки коефіцієнтів регресії, розрахуємо оцінку  $\gamma_i$  рівняння регресії:

$$\gamma = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_k x_{ik} \quad (3.9)$$

або в матричному вигляді:

$$\gamma = x\beta, \text{ де } \gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)^T \quad (3.10)$$

Оцінка коваріаційної матриці вектора коефіцієнтів регресії  $b$  розраховується за формулою:

$$S(b) = s_2 (X^T X)^{-1}, \quad (3.11)$$

$$\text{де } s_2 = \frac{1}{n-k-1} (Y - X_b)^T (Y - X_b).$$

Оскільки на головній діагоналі коваріаційної матриці розташовані дисперсії коефіцієнтів регресії, обчислюємо:

$$s_{b(j-1)} = s_2 [(X^T X)^{-1}]_{jj}, j = 1, 2, \dots, k+1 \quad (4.11)$$

Для оцінки значущості рівняння регресії, тобто гіпотеза  $H_0: \beta = 0$  ( $\beta_0 = \beta_1 = \beta_k = 0$ ), використовують F-критерій Фішера, спостережуване значення якого обчислюється за формулою:

$$F_{\text{снор}} = \frac{Q_{R/k+1}}{Q_{\text{осн}/(n-k-1)}}, \quad (3.13)$$

де

$$Q_R = (X_b)^T (X_b); \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{осн}} = (Y - X_b)^T (Y - X_b) = \sum_{i=1}^n (y_i - \gamma_i)^2. \quad (3.15)$$



За таблицею F-розподілу для заданих  $\alpha$ ,  $v_1 = k + 1$ ,  $v_2 = n - k - 1$  знаходять  $F_{кр}$ .

Гіпотеза  $H_0$  відхиляється з імовірністю  $\alpha$ , якщо  $F_{спос} > F_{кр}$ . Можна зробити висновок, що рівняння є значущим, це означає, що хоча б один з коефіцієнтів регресії відмінний від нуля.

Для обчислення значущості окремих коефіцієнтів регресії, тобто гіпотези  $H_0: \beta_j = 0$ , де  $j = 1, 2, \dots, k$ , використовується t-критерій, розраховують  $t_{спос}(b_j) = b_j / s_{b_j}$ . По таблиці t-розподілу для заданого  $\alpha$  і  $v = n - k - 1$  знаходять  $t_{кр}$ .

Якщо  $t_{спос} > t_{кр}$  гіпотеза  $H_0$  відхиляється з імовірністю  $\alpha$ . Це означає, що досліджуваний коефіцієнт регресії  $\beta_j$  значущий, тобто  $\beta_j \neq 0$ . Інакше коефіцієнт регресії визнається незначущим і відповідна змінна в модель включатися не повинна. В цьому випадку виконується алгоритм покрокового регресійного аналізу. Він полягає в тому, що видаляється одна з незначущих змінних з відповідним мінімальним за абсолютною величиною значенням  $t_{спос}$ . Після виключення знову виконують кроки регресійного аналізу, але число факторів буде менше на одиницю. Такий алгоритм буде закінчено, коли буде отримано рівняння регресії зі значущими коефіцієнтами.

Такий алгоритм покрокового регресійного аналізу не єдиний, є й інші алгоритми, наприклад алгоритм з послідовним включенням факторів.

Регресійний аналіз дозволяє отримувати не тільки точкові оцінки  $b_j$  генеральних коефіцієнтів регресії  $\beta_j$ , а й інтервальні оцінки останніх з довірчою ймовірністю  $\gamma$ . Інтервальна оцінка з довірчою ймовірністю  $\gamma$  для параметра  $\beta_j$  представляється у вигляді:

$$b_j - t_{\alpha} s_{b_j} \leq \beta_j \leq b_j + t_{\alpha} s_{b_j}, \quad (3.16)$$

де  $t_{\alpha}$  знаходять по таблиці t-розподілу при ймовірності  $\alpha = 1 - \gamma$  і числі ступенів свободи  $v = n - k - 1$ .

Інтервальна оцінка рівняння регресії  $\gamma$  в точці, яка визначається вектором-стовпчиком початкових умов  $X_0 = (1, x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0)^T$  має вигляд:

$$y \in \left[ (x_0)T_b \pm t_{\alpha} \sqrt{(X^0)^T (X^T X)^{-1} X^0} \right]. \quad (3.17)$$

Інтервал передбачення  $\gamma_{n+1}$  з довірчою ймовірністю  $\gamma$  визначається за формулою:

$$y \in \left[ (x_0)T_b \pm t_{\alpha} \sqrt{(X^0)^T (X^T X)^{-1} X^0 + 1} \right], \quad (3.18)$$

де  $t_{\alpha}$  визначається по таблиці t-розподілу при  $\alpha = 1 - \gamma$  і числі ступенів свободи  $\nu = n - k - 1$ .

Чим більше віддалений вектор початкових умов  $x_0$  від вектора середніх  $\bar{x}$ , тим більша ширина довірчого інтервалу при заданому значенні  $\gamma$  буде збільшуватися (рис. 3.4).

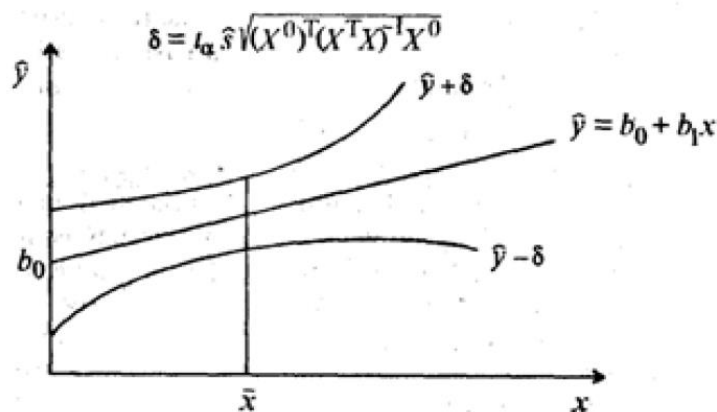


Рисунок 3.4 - Точкова  $\gamma$  і інтервальна  $[\gamma - \delta < \gamma < \gamma + \delta]$  оцінки рівняння регресії

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 x$$

Для виконання розрахунків необхідно визначити:

- обсяг вибірки  $n = 30$ ;
- кількість незалежних змінних - факторних ознак  $k = 8$ ;
- число ступенів свободи  $df = n - k - 1 = 22$ ;
- рівень значущості  $\alpha = 0,05$ ;
- рівень надійності 95%.

Загальний вигляд початкової регресійної моделі:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8, \quad (3.19)$$

де  $\beta_0$  - вільний член рівняння, який не залежить від факторів  $X_i$ ;  $\beta_1 \dots \beta_8$  - коефіцієнти регресії;  $x_1 \dots x_8$  - факторні ознаки.

На рисунку 3.5 представлено результати виконання регресійного аналізу.

ВЫВОД ИТОГОВ					
<i>Регрессионная статистика</i>					
Множественный R	0,999236077				
R-квадрат	0,998472738				
Нормированный R-квадрат	0,998296515				
Стандартная ошибка	4,832059697				
Наблюдения	30				
Дисперсионный анализ					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	3	396881,2623	132293,7541	5665,976365	1,02851E-36
Остаток	26	607,0688237	23,34880091		
Итого	29	397488,3311			
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>
Y-пересечение	224,5855066	34,93328318	6,428983658	8,21748E-07	152,7791154
X2	0,024218209	0,000200436	120,8279311	2,74723E-37	0,023806208
X3	-1,812889371	0,576327945	-3,145586443	0,004121517	-2,997548417
X6	-12,36301149	0,327410458	-37,75997742	3,04596E-24	-13,03601331
			<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
			296,3918979	152,7791154	296,3918979
			0,02463021	0,023806208	0,02463021
			-0,628230325	-2,997548417	-0,628230325
			-11,69000966	-13,03601331	-11,69000966

Рисунок 3.5 - Результат виконання регресійного аналізу

В результаті застосування регресійного аналізу, визначено чинники, які найбільше впливають на споживання електроенергії, а саме: продуктивність вентилятора (X2), вологість зеленого солоду (X3), зовнішня температура повітря (X6). З отриманих результатів регресійна модель має наступний загальний вигляд:

$$y = 224,58 + 0,02x_2 - 1,81x_3 - 12,36x_6. \quad (3.20)$$

На рисунку 3.6 представлено побудований графік базової лінії споживання електричної енергії та фактичне споживання електроенергії.

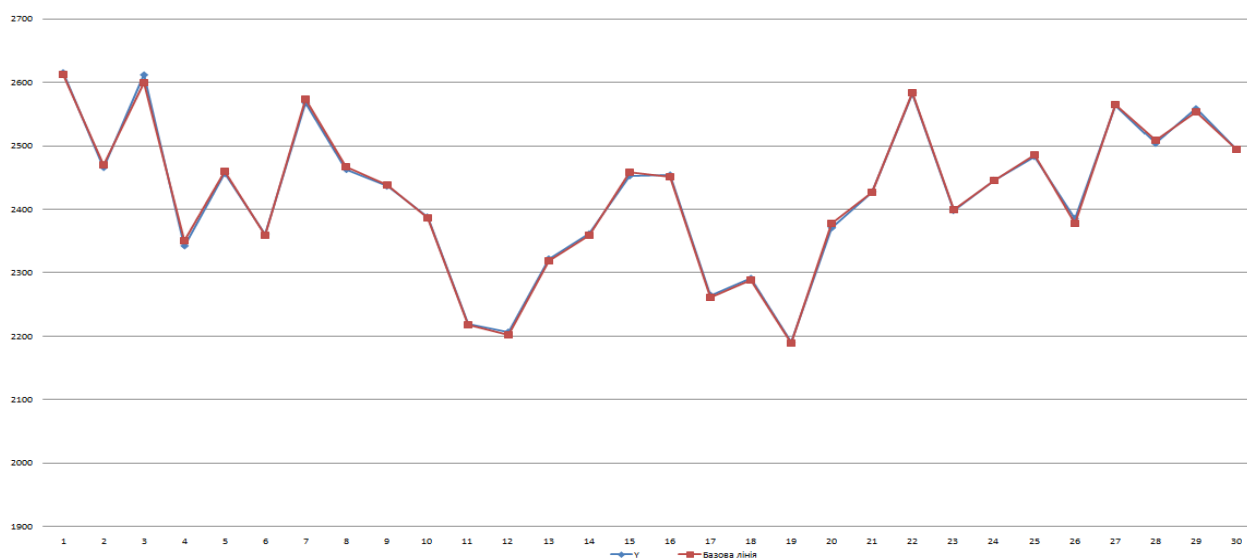


Рисунок 3.6 - Базова лінія споживання електроенергії

На графіку видно, що побудована базова лінія електроспоживання та фактичне споживання електроенергії майже співпадають.

### 3.2.4 Модель на основі методу головних компонент

При виконанні аналізу даних існує необхідність створення спрощеної моделі, яка повинна максимально точно описувати вихідні данні. Досить часто чинники мають значну залежність один від одного та їх одночасна наявність є надлишковою. Деякі чинники мають неявну залежність. Знаючи залежності та їх силу за допомогою методу головних компонент можна виразити декілька чинників через один, тобто об'єднати, і працювати з більш простою моделлю. Уникнути втрати інформації при цьому неможливо, але метод головних компонент надає можливість їх мінімізувати. Даний метод апроксимує  $n$ -мірний простір («хмару») спостережень до еліпсоїда, піввісі якого будуть майбутніми головними компонентами і при проекції на такі осі (зменшення розмірності) зберігається найбільша кількість інформації [7].

Метод головних компонент заснований на конструюванні чинників (як метод відбору інформативних ознак). Головна ідея методу полягає в об'єднанні декількох

корельованих змінних в одну, яка представлятиме собою лінійну комбінацію вихідних змінних. Метою методу є дослідження внутрішньої структури досліджуваної системи величин, "стиснення" цієї системи без істотної втрати інформації шляхом виявлення невеликого числа чинників, які пояснюють мінливість і взаємозв'язок величин [7, 9].

Прогнозування споживання електроенергії за методом головних компонент передбачає виконання наступних кроків:

1. Згладжування вихідного часового ряду.
2. Визначення головних компонент.
3. Встановлення вихідного ряду по головним компонентам.
4. Власне прогнозування.

Нехай задані значення витрат електроенергії  $x$  в момент часу  $t_1, t_2, \dots, t_N$ , де  $t_{i+1} - t_i = h$  для всіх  $1 \leq i \leq N-1$  і  $t_1 < t_2 < \dots < t_N$ . Будемо позначати  $x_i = x(t_i)$ . Послідовність  $x_1, x_2, \dots, x_N$  формує часовий ряд. Необхідно виконати попередні перетворення вихідного часового ряду.

Для цього ряду обрано інтервал згладжування довжини  $M$   $\left(M \leq \frac{N}{2}\right)$ . Це один з центральних етапів методу, від якого багато в чому залежить якість прогнозування. Перший інтервал згладжування охоплює  $x_i$  від  $x_M$ , другий - від  $x_2$  до  $x_{M+1}$ , і т.д.; останній - від  $x_{N-M+1}$  до  $x_N$ . Розташування їх у вигляді матриці:

$$x = (x_{ij})_{ij}^{K,M} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_M \\ x_2 & x_3 & x_4 & \dots & x_{M+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \dots & x_{M+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_k & x_{k+1} & x_{k+2} & \dots & x_{r+N} \end{bmatrix}, \quad (3.21)$$

де  $k = N - M + 1$ .

Перший стовпчик матриці (3.21) - значення випадкової величини  $\xi_1$ , другий стовпчик - значеннями випадкової величини  $\xi_2$ , і т.д., останній стовпчик значеннями випадкової величини  $\xi_m$ , отримані в результаті спостережень.

Для системи випадкових величин  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$  записано кореляційну матрицю:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.22)$$

$$\text{де } r_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \frac{1}{S_i S_j} (x_{i+l-1} - \bar{x}_i)(x_{j+l-1} - \bar{x}_j),$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x_{i+l-1}, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x_{j+l-1},$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{l=1}^k (x_{i+l-1} - \bar{x}_i)^2}, \quad S_j = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{l=1}^k (x_{j+l-1} - \bar{x}_j)^2},$$

$r_{ij}$  характеризує силу лінійного зв'язку між  $\xi_i$  і  $\xi_j$ , тобто між  $i$ -тим та  $j$ -тим стовпчиками матриці  $X$ .

Для виділення головних компонент необхідно обчислити власні числа  $\lambda_i$  і власні вектори  $Y_i$  кореляційної матриці. Є різні числові методи визначення власних чисел і відповідних їм власних векторів матриць. Для визначення власних чисел і власних векторів кореляційної матриці  $R$  добре пристосований метод скалярних похідних, орієнтований на симетричні матриці. Для кореляційної матриці  $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_M = M$ .

В матриці 3.23 перепозначено обчислені власні вектори і створено з них матрицю  $P$ . В цій матриці  $i$ -ий стовпчик представляє собою  $i$ -ий власний вектор.

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_M) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & \dots & P_{M1} \\ P_{12} & P_{22} & \dots & P_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1M} & P_{2M} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix}. \quad (3.23)$$

Головні компоненти обчислюються за формулою  $X \cdot P = Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ , або більш детально:

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{K1} & x_{K2} & \dots & x_{KM} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & \dots & P_{M1} \\ P_{12} & P_{22} & \dots & P_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1M} & P_{2M} & \dots & P_{MM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1M} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{K1} & y_{K2} & \dots & y_{KM} \end{bmatrix}, \quad (3.24)$$

$$\text{де } y_{ij} = \sum_{l=1}^M x_{il} P_{il}.$$

Далі проводиться відбір деякого числа  $r$  головних компонент ряду.

Проведено відновлення вихідного ряду  $x_1, x_2, \dots, x_N$  за головними компонентами. Для цього обчислено матрицю

$$\tilde{X}^* = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1r} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{K1} & y_{K2} & \dots & y_{Kr} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1M} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{1M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{r1} & P_{r2} & \dots & P_{rM} \end{bmatrix}, \quad (3.25)$$

$$\tilde{X}_{ij}^* = \sum_{l=1}^r y_{il} P_{jl}. \quad (3.26)$$

Потім необхідно децентрувати і денормувати матрицю  $\tilde{X}_{ij}^*$ , а саме:

$$\tilde{X}_{ij} = \tilde{X}_{ij}^* S_j + \bar{x}_j. \quad (3.27)$$

Отримано матрицю  $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})$ ,  $i = \overline{1, k}$ ,  $j = \overline{1, M}$ .

Наступним кроком варто відновити часовий ряд  $x_1, x_2, \dots, x_N$  шляхом усереднення по побічним діагоналям матриці  $\tilde{X}$ .

Результат усереднення по  $i$ -ої діагоналі позначено  $\tilde{X}_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ . Отримано:





$$\tilde{x}_{N+1} = \sum_{j=1}^r h_j^* V_M^{(j)}. \quad (3.30)$$

Для визначення послідовності значень  $\tilde{x}_{N+1}, \tilde{x}_{N+2}, \dots, \tilde{x}_{N+l}$  маємо послідовність систем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^r h_j V_1^{(j)} = \tilde{x}_{N-M+k+1}, \\ \dots\dots\dots, \\ \sum_{j=1}^r h_j V_{M-1}^{(j)} = \tilde{x}_{N+k-1}, 1 \leq k \leq l. \end{array} \right. \quad (3.31)$$

Виразення рішення (3.14) через  $h_1^*(k), h_2^*(k), \dots, h_r^*(k)$  матиме наступний вигляд:

$$\tilde{x}_{N+k} = \sum_{j=1}^r h_j^*(k) V_M^{(j)}. \quad (3.32)$$

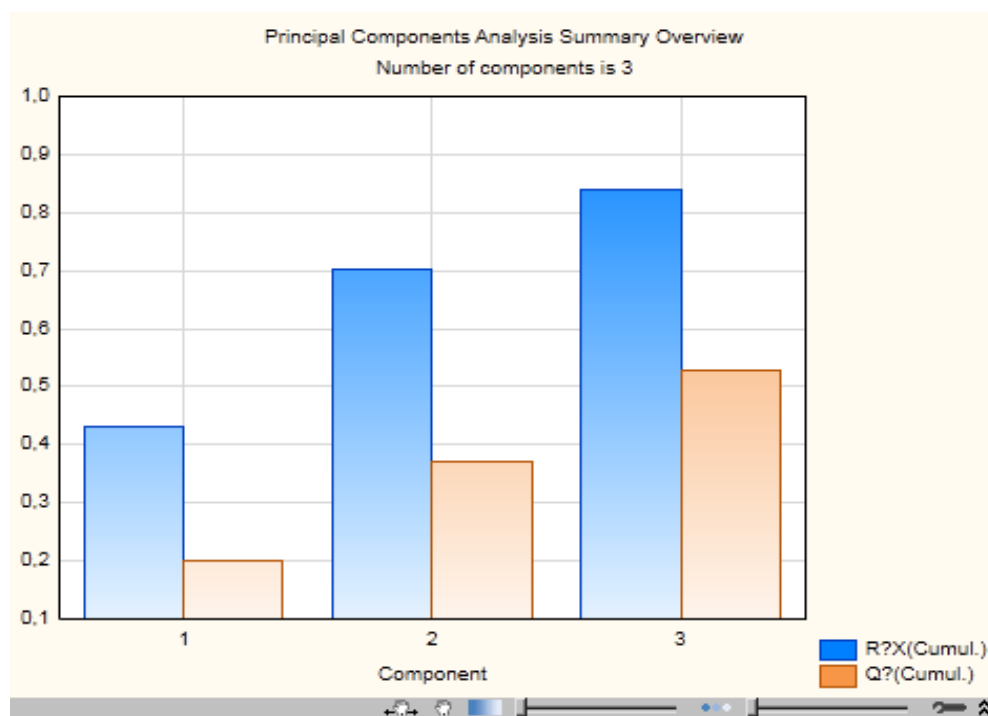
Для виконання розрахунків застосовується програмне забезпечення STATISTICA.

При формуванні моделі для карусельної сушарки солодового цеху методом головних компонент, програмою автоматично було визначено оптимальну кількість головних компонент, а саме: PC1, PC2 та PC3. Отримані головні компоненти є фіктивними, тобто такими, що не мають фізичної реалізації, однак надають можливість об'єднувати декілька реальних кореляційно пов'язаних факторів в один. Інформацію про головні компоненти наведено в таблиці 3.5.

Побудова гістограми кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$  (рис. 3.7) показує, що кумулятивний  $R^2X$  покращується, тобто прагне стати одиницею, оскільки все більше компонент додається до моделі PC. Оптимальне значення головних компонент в моделі визначається за допомогою кумулятивного  $Q^2$ , значення якого зростає при додаванні головних компонент до моделі. Його пікове значення фіксує оптимальну кількість головних компонент в моделі.

Таблиця 3.5 - Результати опису головних компонент

Component	Principal Components Analysis Summary (KC-45)					
	Number of components is 3 83,9182% of sum of squares has been explained by all the extracted components.					
	$R^2X$	$R^2X(\text{Cumul.})$	Eigenvalues	$Q^2$	Limit	$Q^2(\text{Cumul.})$
1	0,430485	0,430485	3,443883	0,155804	0,155172	0,155804
2	0,272802	0,703288	2,182418	0,219417	0,173469	0,341035
3	0,135895	0,839182	1,087158	0,239145	0,197531	0,498623

Рисунок 3.7 – Гістограма кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$ 

В результаті застосування методу головних компонент визначено чинник, який має найбільший вплив на споживання електроенергії карусельної сушарки, а саме: продуктивність сушарки ( $X_1$ ) (табл. 3.6).

Значущість («потужність») змінної, тобто вимірювання, на скільки змінна представлена в компоненті, має важливе значення в аналізі МГК. Тобто для моделі з оптимальною кількістю компонент, змінні, які мають низьке значення «потужності», недостатньо добре представлені та ймовірні бути незначними. Значущість змінних представлено в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - Значущість змінних

Variable	Variable importance (KC-45) Number of components is 3		
	Variable number	Power	Importance
X1	1	0,991398	1
X2	2	0,989774	2
X5	5	0,886696	3
X6	6	0,884656	4
X4	4	0,852820	5
X7	7	0,801743	6
X3	3	0,658562	7
X8	8	0,617811	8

Значення власних векторів кореляційної матриці представлено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахунок векторів кореляційної матриці

Variable	Eigenvector spreadsheet (KC-45) Number of components is 3			
	Variable number	Component 1	Component 2	Component 3
X1	1	-0,316773	0,446328	0,434784
X2	2	-0,300817	0,476882	0,402725
X3	3	0,415995	0,146745	0,208468
X4	4	0,303593	-0,278259	0,580462
X5	5	-0,411974	-0,374660	0,014344
X6	6	-0,373921	-0,422333	0,132422
X7	7	-0,384442	0,246340	-0,381631
X8	8	0,294296	0,308210	-0,324033

Оскільки головні компоненти ортогональні, видалення останніх двох компонент не призводить до змін власних векторів першої головної компоненти (PC1). Отримаємо математичну модель першої головної компоненти:

$$PC_1 = -0,317Z_1 - 0,301Z_2 + 0,416Z_3 + 0,304Z_4 - 0,412Z_5 - 0,374Z_6 - 0,384Z_7 + 0,294Z_8,$$

де  $Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i}$  - стандартизоване значення змінних  $X_i$ ;  $\bar{X}_i$  - середнє значення  $i$ -

ого чинника;  $\sigma_i$  - середньоквадратичне відхилення.

На рисунку 3.8 представлено графік власних значень головних компонент.

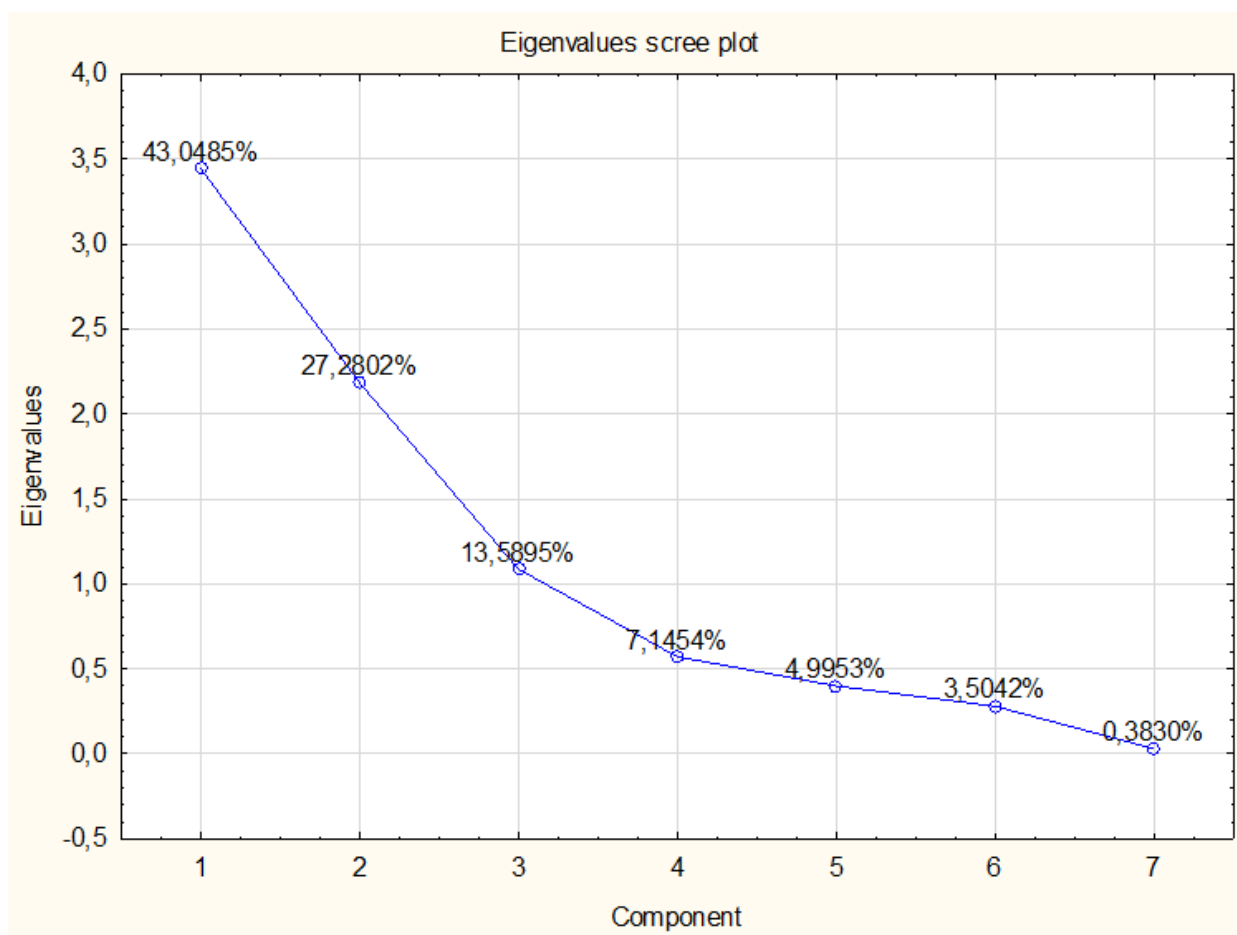


Рисунок 3.8 - Власні значення головних компонент

Отже, перше власне значення першої головної компоненти охоплює 43,05 % мінливості даних. Однак, ця тенденція зменшується в міру додавання до моделі додаткових компонент.

Більш детально аналіз чинників за методом головних компонент наведено в Додатку А.

Виконаємо аналіз залежності споживання електроенергії від продуктивності сушарки. В результаті виконання аналогічних розрахунків, математична модель матиме вигляд:

$$y = 0,68 + 0,315Z_1 - 0,023Z_2 - 0,313Z_3 - 0,132Z_4 + 0,347Z_5 - 0,357Z_6 - 0,238Z_7 + 0,138Z_8$$

На рисунку 3.9 представлено результати в графічному вигляді.

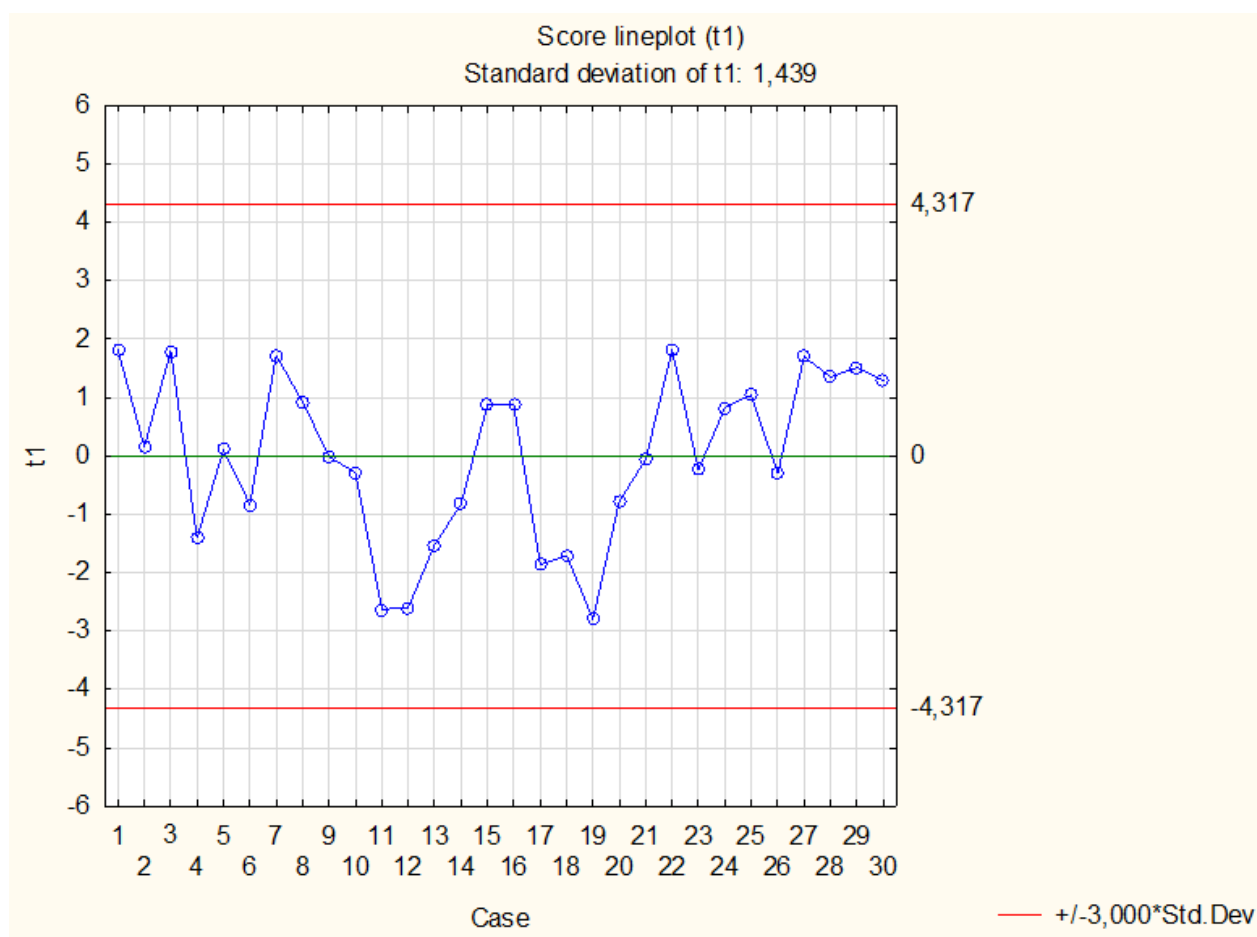


Рисунок 3.9 - Залежність споживання електроенергії від продуктивності сушарки

### 3.2.5 Оцінка точності побудованих математичних моделей

На рисунку 3.10 представлено графік порівняння спрогнозованих значень споживання електричної енергії за регресійним аналізом та методом головних компонент з фактичним споживанням електроенергії за наступний період.

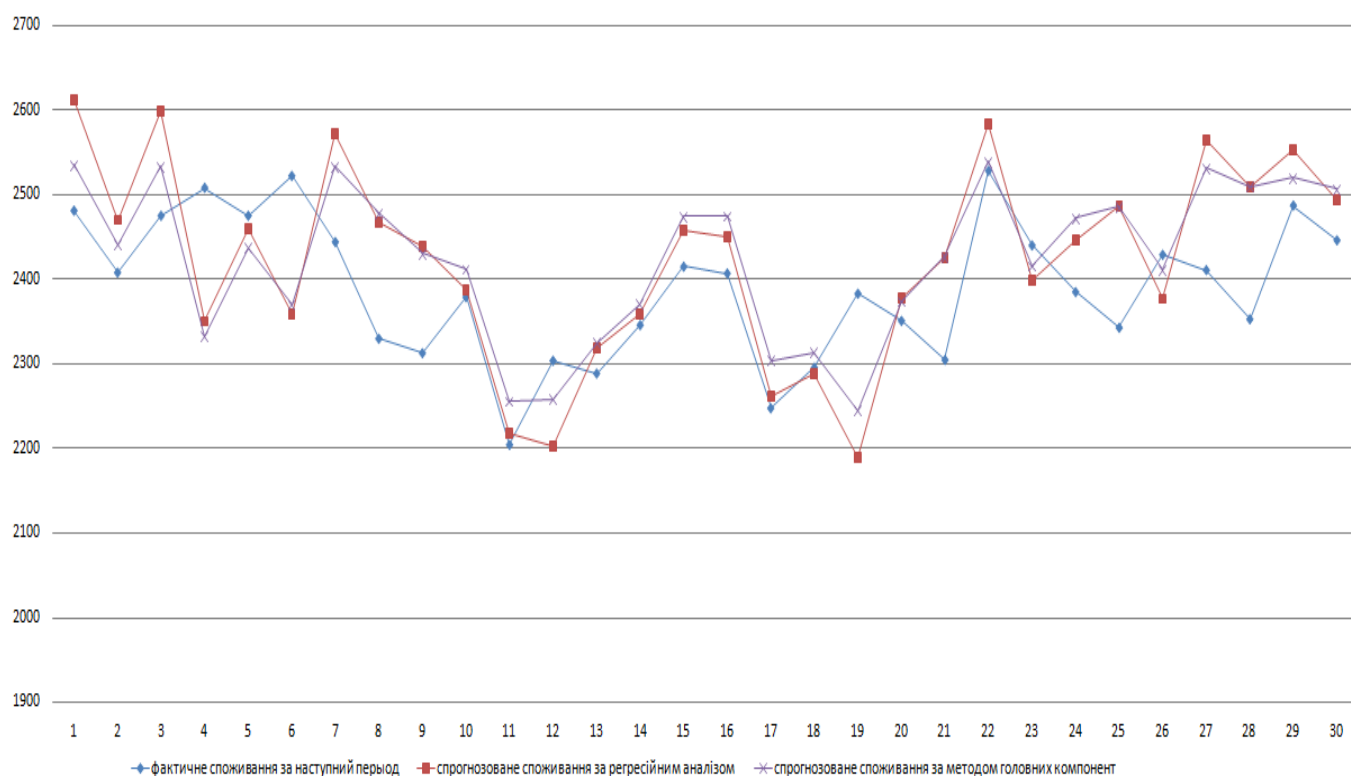


Рисунок 3.10 - Порівняння фактичних та спрогнозованих значень споживання електроенергії

- MAPE (mean absolute percentage error) середня відносна похибка:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|W_{act} - W_{mod}|}{W_{act}} \cdot 100\% ; \quad (3.33)$$

- RMSE (root mean squared error) середньоквадратична похибка:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_{act} - W_{mod})^2} ; \quad (3.34)$$

- CV (coefficient of variation) коефіцієнт варіації:

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{W}_{act}} , \quad (3.35)$$

де  $W_{act}$  - фактична витрата електроенергії;  $W_{mod}$  - витрата електроенергії, спрогнозована моделлю при тому ж наборі факторів впливу;  $\bar{W}_{act}$  - середньоарифметичне значення фактичної витрати електроенергії;  $n$  - обсяг вибірки [8].

Отримані результати зведено в таблицю 3.8.

Результати аналізу показали, що точність моделі, побудованої на основі методу визначення головних компонент вища, ніж для регресійного аналізу, і тому більш доцільно застосовувати метод головних компонент для визначення найбільш суттєвих чинників, які впливають на обсяги споживання електроенергії карусельної сушарки при моделюванні процесу електроспоживання.

Таблиця 3.8 - Оцінка точності

Назва методу	MAPE (%)	PMSE (кВт·год)	CV
Регресійний аналіз	3,40	99,43	0,042
Метод головних компонент	3,06	88,17	0,037

Точність сформованих регресійних моделей електроспоживання оцінювалась на основі середньої відносної похибки, середньоквадратичної похибки, визначення коефіцієнта варіації.

### 3.3 Процедура контролю ефективності встановленого рівня ефективності енергоспоживання

Процедура контролю за допомогою графіка CUSUM ґрунтується на поступовому визначенні та накопиченні відхилень, які виникають між фактичними та прогнозними обсягами електроспоживання на об'єкті.

Визначаємо величину відхилень фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно встановленого базового рівня для деякого  $i$ -го періоду контролю, кВт год:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт}_i} - W_{\text{см}_i}, \quad (3.36)$$

де  $W_{\text{факт}_i}$  – фактичний обсяг споживання енергії за відповідний період, кВт год;  
 $W_{\text{см}_i}$  – величина енергоспоживання за той же період, визначена за встановленим базовим рівнем електроспоживання, кВт год.

Значення кумулятивної суми відхилень фактичної витрати електроенергії на  $k$ -му кроці контролю виконання встановленого базового рівня електроспоживання розраховується за формулою, кВт год:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (3.37)$$

де  $\Delta W_{\Sigma k}$  – сумарне відхилення споживання енергії від його базових значень, отриманих протягом минулих  $k$  періодів контролю, кВт·год;  $\Delta W_{\Sigma k-1}$  – сумарне відхилення фактичних обсягів споживання енергії від базових, отримане протягом минулих періодів контролю, кВт·год;  $\Delta W_k$  – відхилення енергоспоживання від його базового значення на  $k$ -му кроці контролю, кВт·год.

Припустимо, що на об'єкті проведено певний захід з енергозбереження і отримано економію електроенергії. Порахуємо величини відхилення фактичного обсягу споживання електроенергії відносно встановленого базового рівня електроспоживання та значення кумулятивних сум цих відхилень. Результати розрахунків представлено в таблиці 3.9



Таблиця 3.9 - Результати вимірів фактичних значень споживання електроенергії та результатів контролю за допомогою графіка CUSUM

Споживання електроенергії (кВт*год)/добу (квітень)	Спрогнозоване споживання за МГК	EnP C	Реальна економія (Act-Exp)	Реальна ек. КУСУМ	Цільове споживання 2,5 %	Цільове спож. (Tgt-Exp)	Цільове спож. КУСУМ
				0			0
2480	2534	0,98	-54	-54	2470,48	-63	-63
2407	2440	0,99	-33	-87	2378,74	-61	-124
2474	2533	0,98	-59	-145	2469,22	-63	-188
2507	2331	1,08	176	31	2272,81	-58	-246
2474	2436	1,02	38	69	2375,28	-61	-307
2521	2369	1,06	152	221	2309,59	-59	-366
2443	2532	0,96	-89	132	2468,84	-63	-429
2329	2477	0,94	-148	-17	2415,35	-62	-491
2312	2429	0,95	-117	-133	2368,10	-61	-552
2378	2411	0,99	-33	-166	2350,63	-60	-612
2204	2254	0,98	-50	-216	2197,45	-56	-669
2303	2256	1,02	47	-169	2199,79	-56	-725
2288	2323	0,98	-35	-205	2265,40	-58	-783
2345	2369	0,99	-24	-229	2309,84	-59	-842
2414	2474	0,98	-60	-288	2411,77	-62	-904
2406	2474	0,97	-68	-357	2412,25	-62	-966
2247	2302	0,98	-55	-412	2244,72	-58	-1024
2295	2312	0,99	-17	-429	2254,35	-58	-1081
2382	2243	1,06	139	-290	2187,18	-56	-1137
2350	2373	0,99	-23	-313	2313,33	-59	-1197
2304	2426	0,95	-122	-435	2365,02	-61	-1257
2527	2538	1,00	-11	-446	2474,78	-63	-1321
2439	2415	1,01	24	-421	2354,22	-60	-1381
2384	2471	0,96	-87	-508	2409,34	-62	-1443
2342	2485	0,94	-143	-651	2422,77	-62	-1505
2428	2410	1,01	18	-634	2349,89	-60	-1565
2410	2531	0,95	-121	-755	2467,84	-63	-1629
2352	2509	0,94	-157	-911	2445,88	-63	-1691
2486	2519	0,99	-33	-945	2456,32	-63	-1754
2445	2505	0,98	-60	-1005	2442,70	-63	-1817

На рисунку 3.11 побудовано графік кумулятивних сум.

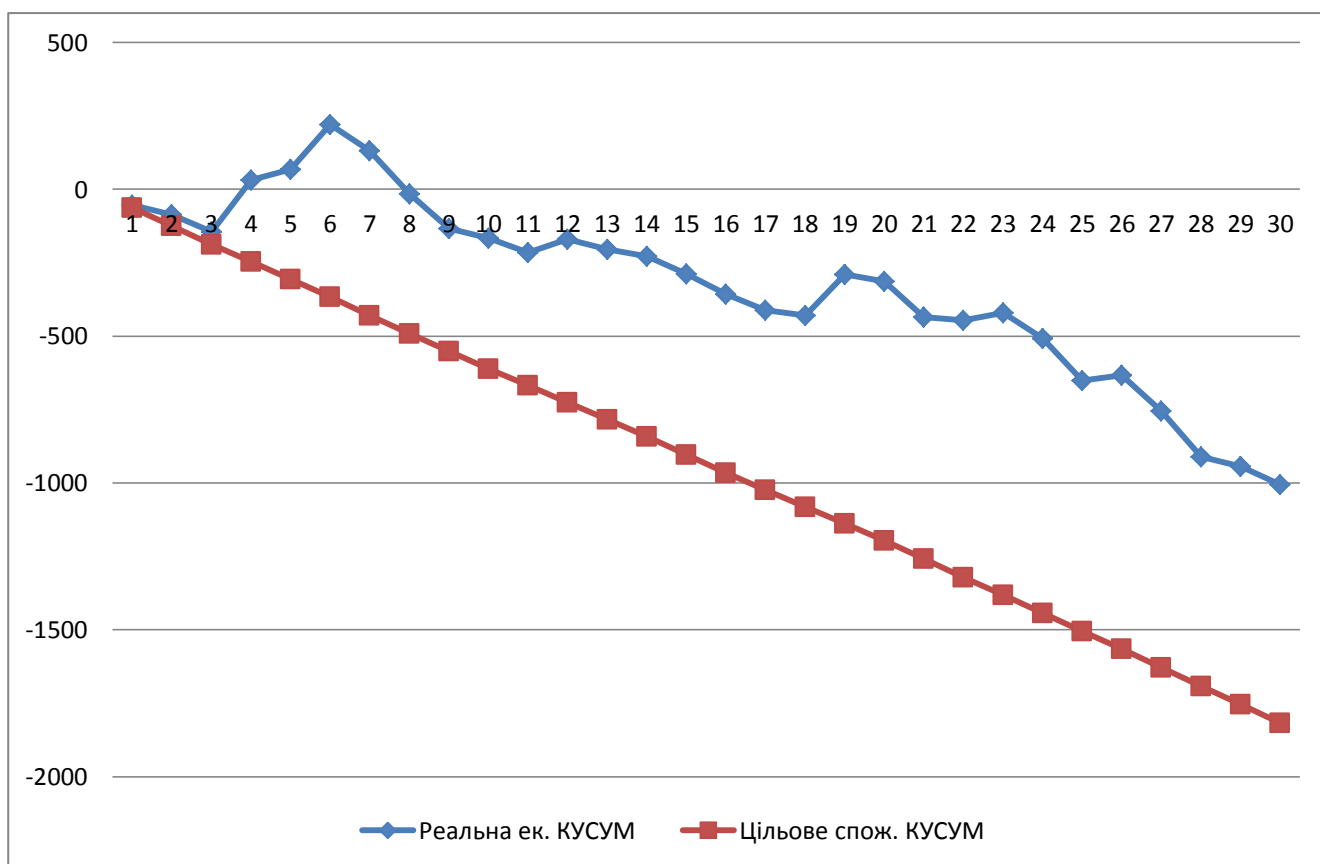


Рисунок 3.11 - Графік CUSUM

Побудуємо V-маску. Припустимо, що потрібно виявити зміщення середнього значення на одне стандартне відхилення ( $\delta = 1$ ). Прийmemo рівень значимості  $\alpha = 0,1$

Згідно формул 2.17 - 2.19 маємо наступні параметри V-маски:

$$a = \begin{bmatrix} 3685 \\ -5695 \end{bmatrix} ;$$

$$b = \pm 156,34$$

$$d = 0,00015$$

На рисунку 3.12 виконано контроль ефективності споживання електроенергії із застосуванням кута V-маски.

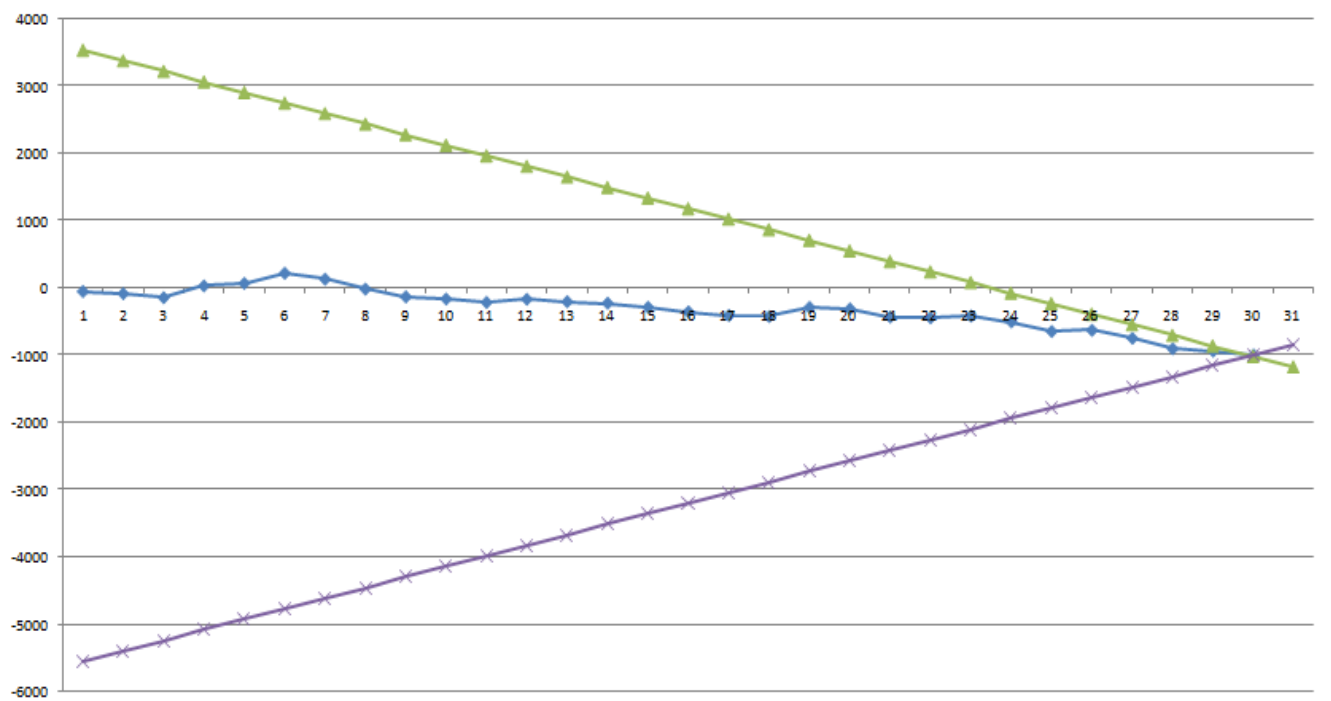


Рисунок 3.12 - Контроль ефективності споживання електроенергії із застосуванням кута V-маски

На рисунку 3.12 немає точок за межами V-маски, можна зробити висновок, що даний технологічний процес є статично керований

### Висновки до розділу 3

1. В даному розділі виконано енергетичний аналіз солодового цеху з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв. Суттєвим споживачем електричної енергії визначено вентиляторну установку карусельної сушарки типу КС-45. Виконано аналіз чинників, які впливають на споживання електроенергії об'єктом дослідження.

2. Метод головних компонент надає можливість детально проаналізувати чинники, які впливають на споживання електроенергії вентиляторною установкою та визначити найбільш вагомі.

3. В роботі виконано оцінювання та встановлення рівня енергоефективності. Побудовано модель на основі регресійного аналізу та методу головних компонент. Запропоновані методи дали досить точні результати.

4. Порівняльний аналіз результатів дослідження за двома методами показав, що точність моделі на основі методу головних компонент за даних умов є вищою, ніж регресійний аналіз.

5. Виконано контроль ефективності встановленого рівня енергоспоживання за допомогою побудови графіка кумулятивних сум із застосуванням кута V-маски. Зроблено висновок, що даний технологічний процес є статично керованим.

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1 Етапи розроблення стартап-проекту

Стартап - нещодавно створена компанія, яка буде свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, володіє обмеженою кількістю ресурсів і планує виходити на ринок. Етапи розроблення стартап-проекту наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Етапи розроблення стартап-проекту

<b>Маркетинговий аналіз стартап-проекту</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>опис ідеї проекту та визначення загальних напрямів використання потенційного товару чи послуги;</li> <li>аналіз ринкових можливості щодо реалізації;</li> <li>розробка стратегії ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту на базі аналізу ринкового середовища.</li> </ul>
<b>Організація стартап-проекту</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>складання календарного план-графіку реалізації стартап-проекту;</li> <li>розрахунок потреби в основних засобах та нематеріальних активах;</li> <li>формулювання потреби у матеріальних ресурсах та персоналі на основі визначення планового обсягу виробництва потенційного товару;</li> <li>розрахунок загальних початкових витрат на запуск проекту та планових загальногосподарських витрат, необхідних для реалізації проекту.</li> </ul>
<b>Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>визначення обсягу інвестиційних витрат;</li> <li>розрахунок основних фінансово-економічних показників проекту та визначення показників інвестиційної привабливості проекту;</li> <li>визначення рівня ризикованості проекту, визначення основних ризиків проекту та шляхів їх запобігання.</li> </ul>

## Продовження таблиці 4.1

<b>Заходи з комерціалізації проекту</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;</li> <li>• складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;</li> <li>• планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок, планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;</li> <li>• планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.</li> </ul>
---	--

**4.2 Опис ідеї проекту та визначення загального напрямку використання**

Ідея проекту полягає у створенні компанії, діяльність якої полягає у наданні послуг з моніторингу споживання та контролю ефективності використання електроенергії промислових підприємств з метою досягнення заявлених цілей з питань оцінки та контролю споживання електричної енергії.

Опис ідеї стартап-проекту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Опис ідеї стартап-проекту

Опис ідеї	Напрямки застосування	Вимоги до користувача
Аналіз споживання та контроль ефективності використання електроенергії.	Комерційний - надання послуги з оцінки та контролю споживання електроенергії підприємством (об'єктом дослідження)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Надання доступу до інформації;</li> <li>- Наявність системи обліку енергоносіїв;</li> <li>- Можливість про-ведення необхідних вимірювань.</li> </ul>

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї в порівнянні з пропозиціями конкурентів.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари / концепції конкурентів			W (слаб- ка сто- рона)	N (нейт- раль-на сто- рона)	S (силь- на сто- рона)
		Мій проект	Конку- рент 1	Конку- рент 2			
1	Комплексність	1	2	3	3	2	1
2	Оперативність	1	2	3	2	3	1
3	Сучасність	1	2	3		2, 3	1
4	Безпека та надійність	1	2	3		1, 2, 3	
5	Вартість	1	2	3		1, 3	2
6	Оптимізація витрат, знижки	1	2	3		1, 2, 3	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту представлено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Оцінка та аналіз спожива- ння електро- енергії	Виконання оцінка факторів, які впливають на споживання електроенергії за методом головних компонент з використанням програмного забезпечення STATISTICA. Аналіз отриманих результатів	наявна	доступна

Продовження таблиці 4.4

2	Прогнозування споживання електроенергії	Розробка моделі та по-будова прогнозу з використанням програмного забезпечення STATISTICA та MS Excel	наявна	доступна
3	Контроль споживання електроенергії	Здійснення контролю споживання електроенергії за побудови графіку кумулятивних сум з використанням програмного забезпечення MS Excel	наявна	доступна

Отже, технічна реалізація проекту можлива. Технології є наявними та доступними. Існує необхідність закупівлі ліцензійного програмного забезпечення.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап- проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	15
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	580 тис грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає



## Продовження таблиці 4.5

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність достатньої законодавчої бази та вимог до обов'язкового впровадження СЕНМ
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ ISO 50001; ДСТУ ISO 50002; ДСТУ ISO 50004; ДСТУ ISO 50006; ДСТУ ISO 50015
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	23 %

Визначення групи потенційних клієнтів, їх характеристики, та орієнтовний перелік вимог до послуги наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
Контроль споживання електроенергії (підвищення рівня енергетичної ефективності)	промислові підприємства	<ul style="list-style-type: none"> <li>- характер споживання електроенергії;</li> <li>- кількість споживачів електроенергії;</li> <li>- визначення суттєвого споживача електроенергії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- точність результату прогнозування;</li> <li>- швидкість виконання аналізу.</li> </ul>

В таблицях 4.7, 4.8 представлено аналіз ринкового середовища.

Таблиця 4.7 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	недосягнення спрогнозованих результатів	наявність похибки	проведення додаткових розрахунків; можливість застосування іншого методу
2	конкуренція	наявність товарів- замінників	реклама; впровадження системи лояльності
3	попит	відсутність попиту; спроможність підприємства самостійно здійснювати аналіз та контроль	реклама

Таблиця 4.8 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	новизна	застосування нових, більш точних методів оцінки та аналізу споживання електроенергії	витрати на вдосконалення програмного забезпечення
2	комплексність	комплексний підхід до аналізу споживання електроенергії, визначення суттєвого споживача, побудова базової лінії та прогнозу.	вдосконалення складової
3	вдосконалення моделей	застосування нових методів	підвищення конкурентоспроможності

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку виконано в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	тип конкуренції: - чиста	Велика кількість підприємств даного профілю	Надання більш якісних послуг; залучення висококваліфікованих спеціалістів
2	рівень конкурентної боротьби: - локальний	Діяльність компанії спрямована на місцевого споживача, конкурувати за кордоном не рентабельно	Конкуренція в галузі впливає на попит. Можливими діями компанії є підтвердження якості наданих послуг, застосування програми лояльності, реклама
3	Галузева ознака: - внутрішньогалузева	Компанія надає послуги лише в енергетичній галузі	Вихід компанії на новий рівень. Розширення напрямків застосування методів в інших галузях
4	Конкуренція за видами послуг: - консультативна; - продуктова.	Надання консультації підприємств з питань управління та контролю споживання електроенергії. Побудова моделі.	Підвищення кваліфікації персоналу. Вдосконалення та впровадження нового програмного забезпечення.
5	За характером конкурентних переваг - нецінова	Послуга не має фіксованої ціни. Розрахунок вартості залежить від типу заявлених робіт та складності виконання.	На ціну впливає безліч факторів.

Продовження таблиці 4.9

6	За інтенсивністю - не марочна	На деяких підприємствах вже працюють певні системи аналізу та контролю. Також наявна конкуренція на ринку.	Жорстка конкуренція
---	----------------------------------	--	---------------------

Детальний аналіз умов конкуренції в галузі виконано за моделлю М. Портера та представлено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти	Товари-замінники
Висновки:	Інші компанії, які надають послуги з оцінки та контролю споживання електроенергії	Вихід на ринок нових конкурентів.	Впроваджен на підприємстві системи оперативного контролю	Розробка та застосування вдосконаленого програмного забезпечення

На основі аналізу конкуренції, наведеного в таблиці 4.10, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.3), вимог споживачів до товару (табл. 4.6) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.7 - 4.8) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Новизна	Комплексний підхід та застосування методу головних компонент.
2	Якість	Методи, які застосовуються при виконанні аналізу є досить точними.
3	Термін виконання робіт	Досить швидке виконання аналізу.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.11) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін з компанією-конкурентом

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг послуг у порівнянні з іншою компанією-конкурентом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Новизна	6						V	
2	Точність та якість	8							V
3	Термін виконання робіт	11					V		
4	Ціна	10				V			
5	Інформаційне забезпечення	12							V

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.13) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складено на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові

загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.13 - SWOT - аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- новизна;</li> <li>- точність результатів аналізу;</li> <li>- контроль якості;</li> <li>- швидкість виконання заявлених робіт;</li> <li>- інформаційне забезпечення;</li> <li>- кваліфікація розробників моделей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- складність використання програмного забезпечення;</li> <li>- невелика команда розробників моделей.</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- підвищення точності;</li> <li>- вдосконалення моделей;</li> <li>- лояльність цін;</li> <li>- застосування нових методів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наявність похибки;</li> <li>- конкуренція, наявність товарів-замінників;</li> <li>- законодавчі обмеження;</li> <li>- патенти на продукти;</li> <li>- відсутність попиту.</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (табл. 4.10).

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту представлено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Спільна робота з іншими підприємствами	Середня	1 рік

#### 4.4 Розробка стратегії ринкового впровадження проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає ви-значення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти послуги	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові підприємства	Висока	Високий	Висока	Середня
2	Інші підприємства	Помірна	Середній	Середня	Помірна
3	Адміністративні будівлі	Низька	Слабкий	Помірна	Середня
Обрано: промислові підприємства					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обрано цільову групу, для якої пропонується надання послуг. Для роботи в обраному сегменті ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Стратегія спеціалізації	Концентрація на потребах одного цільового сегменту	Точність, якість, комплексність, оперативність надання послуги. Сучасне програмне забезпечення. Висококваліфікований персонал.	Концентрований маркетинг

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики послуги конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Компанія здійснюватиме пошук нових споживачів та створюватиме конкуренцію на ринку	Так. Здійснення оцінки та контролю споживання електроенергії.	Якість послуг, висока точність результатів.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до стартап-компанії та до продукту (табл. 4.6), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.16) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17) розроблено стратегію позиціонування (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до послуги цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Досягнення очікуваного результату	Покращення та реклама	Новизна, унікальність, комплексність.	Інтелектуальний; ефективний, результативний.



## **Висновки до розділу 4**

1. В даному розділі запропоновано стартап-проект, ідея якого полягає у створенні компанії, діяльністю якої є надання послуг аналізу та контролю ефективності споживання електроенергії промислових підприємств з метою підвищення рівня енергоефективності.

2. Виконано маркетинговий аналіз стартап-проекту. Визначено загальний напрямок використання запропонованої послуги. Виконано аналіз ринкових можливостей щодо реалізації проекту. Розроблено стратегії ринкового впровадження.

## ВИСНОВКИ

1. Для вирішення завдань управління ефективністю використання електроенергії традиційно використовують системи контролю і планування. Згідно чинного національного стандарту України ДСТУ ISO 50006:2016 для кількісної оцінки рівня досягнутої енергоефективності застосовують показники енергоефективності. Базовий рівень енергоспоживання застосовується для порівняння значень енергоефективності протягом тривалого часу та кількісного оцінювання змін в рівні досягнутої енергоефективності. Для здійснення оцінки рівня енергоефективності традиційно використовується регресійний аналіз.

2. Вдосконалення системи управління споживання електроенергії сприяє підвищенню ефективності використання електроенергії. На підприємстві з виробництва алкогольних та безалкогольних напоїв існує необхідність вдосконалення методів аналізу, оцінювання та управління процесами споживання електроенергії для зменшення рівня нераціонального використання електроенергії.

3. З числа відомих методів для вирішення задачі було обрано наступні методи: метод регресійного аналізу та метод головних компонент. В якості об'єкта дослідження взято карусельну сушарку солодового цеху підприємства. Точність прогнозування споживання електроенергії об'єктом дослідження вимагає аналізу внутрішніх виробничих чинників. Як показало дослідження, може бути значна кількість чинників, які впливають на електроспоживання об'єкта дослідження.

4. Розроблено метод прогнозування обсягів споживання електроенергії на підприємстві на основі методу головних компонент, який дозволяє оцінити рівень досягнутої енергоефективності на підприємстві та отримати інформацію щодо прогнозу подальшого споживання електричної енергії на промисловому підприємстві. Запропоновано стартап-проект, ідея якого полягає у створенні компанії, діяльністю якої є надання послуг аналізу та контролю ефективності споживання електроенергії промислових підприємств з метою підвищення рівня енергоефективності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 50001:2014 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT) – [Чинний від 16.09.2014]. – (Державний стандарт України).
2. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення і настанова (ISO 50006:2014, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. –(Державний стандарт України).
3. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. –(Державний стандарт України).
4. ДСТУ ISO 50004:2016 Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту (ISO 50004:2014, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. –(Державний стандарт України).
5. Э.Е. Тихонов. Методы прогнозирования в условиях рынка : учебное пособие. - Невинномысск, 2006. - 221 с.
6. Кендюхов А.В. Использование метода главных компонент для оценки конкурентоспособности машиностроительных предприятий [Електронний ресурс] / А.В. Кендюхов, Д.О. Толкачев // Маркетинг і менеджмент інновацій. - 2013. - № 4. - С. 219-225. Режим доступа: <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua>.
7. Калинина В.Н. Введение в многомерный статистический анализ: учебное пособие / В.Н. Калинина, В.И. Соловьев. - М., 2003. - 66 с.
8. Комяков А.А. Применение метода главных компонент для формирования математической модели процесса электропотребления на железнодорожном транспорте / А.А. Комяков // Машиностроение: сетевой электронный журнал. - 2016. - № 3. - С. 27-31.

9. Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Squares (PLS) Technical Notes / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://documentation.statsoft.com>.
10. Кузнецов В.Г. Прогнозирование месячных расходов электроэнергии электрифицированных участков на основе метода выделения главных компонент ряда / В.Г. Кузнецов // Вісник приазовського державного технічного університету. - 2013. - Вип. 26. - С. 216-220.
11. Постанова Кабінету Міністрів України «Загальне положення про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» від 15.07.1997 р. № 786 (зі змінами та доповненнями, внесеними постановою Кабміну від 08.11.2006 р. № 1571) [Електронний ресурс]. – Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=786-97-%EF>.
12. Наказ Державного комітету з енергозбереження «Про затвердження Основних положень з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» від 22.10.2002р. №112 (із змінами, внесеними згідно з наказу НАЕР від 15.06.2007р. № 92) [Електронний ресурс]. – Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0878-02>.
13. Степанов В.С. Система показателей для оценки эффективности использования энергии / В.С. Степанов, Т.Б. Степанова // Промышленная энергетика. – 2000. – №1. – С. 2–5.
14. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий / И.В. Гофман. – М.–Л.: Энергия, 1966. – 319 с.
15. Константинов Б.А. Использование кибернетических методов в промышленной энергетике / Б.А. Константинов, Д.М. Воскобойников // Электричество. – 1976. – №10. – С.70–71.
16. Константинов Б.А. Основные направления совершенствования нормирования электропотребления в промышленности / Б.А. Константинов, Г.Л. Багиев, В.Т.

- Мелехин // Нормирование потребления электроэнергии и энерго-балансы предприятий : материалы семинара. – М. : МДНТП. – 1979. – С. 17–21.
17. Волобринский С.Д. Вопросы нормирования и прогнозирования электропотребления при многономенклатурном производстве / С.Д. Волобринский // труды VII междунар. конф. по промышленной энергетике, 1972 г. : тезисы докл. – К., 1972. – С.12.
  18. Волобринский С.Д. Определение фактических удельных расходов электроэнергии и прогнозирование электропотребления при многономенклатурном производстве / С.Д. Волобринский, А.И. Гельфарб, А.К Михайлов // Промышленная энергетика. – 1970. – №5. – С.26.
  19. Смирнов И.П. Создание автоматизированных систем нормирования расхода энергетических ресурсов в отраслях промышленности / И.П. Смирнов, В.П. Чернявский, П.П. Ястребов // Нормирование потребления электроэнергии и энергобалансы предприятий : материалы семинара. – М. : МДНТП. – 1979. – С. 87–90.
  20. Тайц А.А. Применение математических методов при нормировании удельных расходов электроэнергии в промышленности / А.А. Тайц, М.Р. Брдлик. – М.: МИЭИ им. С.Оржоникидзе, 1973. – 55 с.
  21. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях / В.К. Олейников. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
  22. Технические аспекты энерготехнологического анализа [Электронный ресурс] // Новости электротехники. – 2003. – №4(22). – Режим доступа до журн. :<http://news.elteh.ru/arh/2003/22/15.php>.
  23. Праховник А.В. Функционально-ориентированная оптимизация режимов электропотребления: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.07 / Праховник Артур Вениаминович. – К., 1982. – 353 с.
  24. Праховник А.В. Динамическое нормирование и оптимальное распределение лимитов на электропотребление промышленных предприятий / А.В. Праховник, В.Ф. Находов. – К., 1980. – 18 с. – Деп. в УкрНИИНТИ Госплана УССР 29.10.80, № 1980.

25. Pooley John. Quick Start Guide to Energy Monitoring & Targeting (M&T) [Электронный ресурс] / John Pooley // Effective Energy Management Guide. – 2005. – Режим доступа : <http://www.oursouthwest.com/SusBus/susbus9/m&tguide.pdf>.
26. Материалы проекта «Усиление действий по подготовке энергоменеджеров в Украине» по программе TACIS № EUK 9701. – К. :IEE НТУУ «КПІ», 1999. – 156 с.
27. Monitoring and Targeting in large companies // Energy Efficiency Enquiries Bureau, ETSU, Harwell, Oxfordshire, OX11. Good Practice Guide 112. – 1998. – 45p.
28. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) / Phil Jones // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29–32.
29. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) / Phil Jones // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29–32.
30. Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка : Учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006 – 211 с.
31. Рожков Л.Н., Френкель А.А. Выбор оптимального параметра сглаживания в методе экспоненциального сглаживания. – Основные проблемы и задачи научного прогнозирования. – М.: Наука, 1972.- 154 с.
32. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Наука, 1976. – 343 с.
33. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Н. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
34. Ибираимов Т. Б. Прогнозирование тенденций финансовых рынков с помощью нейронных сетей / Т. Б. Ибираимова // Нейрокомпьютеры и их применение: Труды VIII всероссийской конференции. – М.: ИПУ РАН, 2002. – С.745 – 755.
35. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 520 с.
36. Никифоров Г. В. Анализ устойчивости регрессионных моделей электропотребления [Текст] / Г. В. Никифоров // Промышленная энергетика. – 1999. - № 12. – С. 18-20.

37. Кудрин Б. И. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов [Текст] / Б. И. Кудрин, А. В. Мозгалин // Вестник МЭИ. – 2007. - №2. – С. 105 – 108.
38. Усихин, В. Н. О нормировании и планировании электропотребления на промышленных предприятиях [Текст] / В.Н. Усихин // Промышленная энергетика. – 1997. - № 4. – С. 30 – 37.
39. Гнатюк, В.И. Прогнозирование электропотребления техноценоза классическим методом [Текст] / В. И. Гнатюк, С.Н. Гринкевич // Электрика. – 2006. - № 1. – С. 30-33.
40. Гнатюк, В. И. Оценка адекватности работы динамической адаптивной модели электропотребления [Текст] / В. И. Гнатюк, С. Н. Гринкевич, Д. В. Луценко // Электрика. – 2006. - № 12. – С. 36 – 39.
41. Дзевенцкий А. Я. Многовариантное решение задач анализа, прогнозирования и нормирования электропотребления на промышленных предприятиях, выпускающих разнородную продукцию [Текст] / А. Я. Дзевенцкий, К. Х. Ибрагимов, Ф. А. Хашимов //Промышленная энергетика. – 2000. - № 5. – С.43 - 46.
42. Анчарова Т.В. Анализ и нормирование электропотребления предприятий средней и малой мощности с многономенклатурным производством [Текст] / Т.В. Анчарова, А. П. Пищур // Вестник МЭИ. – 2003. – №2 . - С.35– 40.
43. Воронов И.В. Использование нейронной сети для краткосрочного прогнозирования электропотребления промышленного предприятия [Текст] / И.В. Воронов, Е.А Политов, В.М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 6. – С. 71-73.
44. Воронов И. В. Методика выбора входных параметров нейронной сети для прогнозирования электропотребления промышленного предприятия [Текст] / И. В. Воронов, Е. А. Политов, В. М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2007. - № 3. – С. 38.

45. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Калан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. - № 8 . – С. 29 – 31.
46. Иванов, М.Н. Анализ роста курса акций с применением нейронных сетей / М. Н.Иванов // Нейрокомпьютеры и их применение: Труды VIII всероссийской конференции. – М.: ИПУ РАН, 2002. – С. 756 – 772.
47. Курбацкий В. Г. Прогнозирование электрической нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей [Текст] / В. Г. Курбацкий, Н. В. Томин // электрика. – 2006. - № 7. – С. 26 – 32.
48. Шумилова, Г. П. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок с использованием искусственных нейронных сетей [Текст] / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева // Электричество. – 1999. - № 10. – С. 6 – 12.
49. Гнатюк В. И. Потенширование в методике управления электропотребления техноценоза / И. В. Гнатюк, В. И. Пантелеев, А. А. Заименко // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. - 2014. - № 1 (2014 7). - С. 116 - 124.
50. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Статистичні методи управління якістю продукції» для студентів спеціальності 7.000001 «Якість, стандартизація і сертифікація» денної і заочної форм навчання / Укл.: О.В. Томашевський – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 40 с.
51. Технічний звіт енергетичного обстеження (енергоаудиту) ЗАТ "Оболонь". - 2008.
52. Лисичкин В. А. Теория и практика прогностики / В.А. Лисичкин. – М.: Наука, 1972. – 223с.



## ДОДАТОК А

Приклад виконання розрахунків за методом головних компонент в програмному забезпеченні STATISTICA.

Завантаження масиву даних. В меню «File» натисніть «Open» та завантажте файл .xlsx з масивом вихідних даних обравши «Import selected sheet to a Spreadsheet» (Рис. А.1).

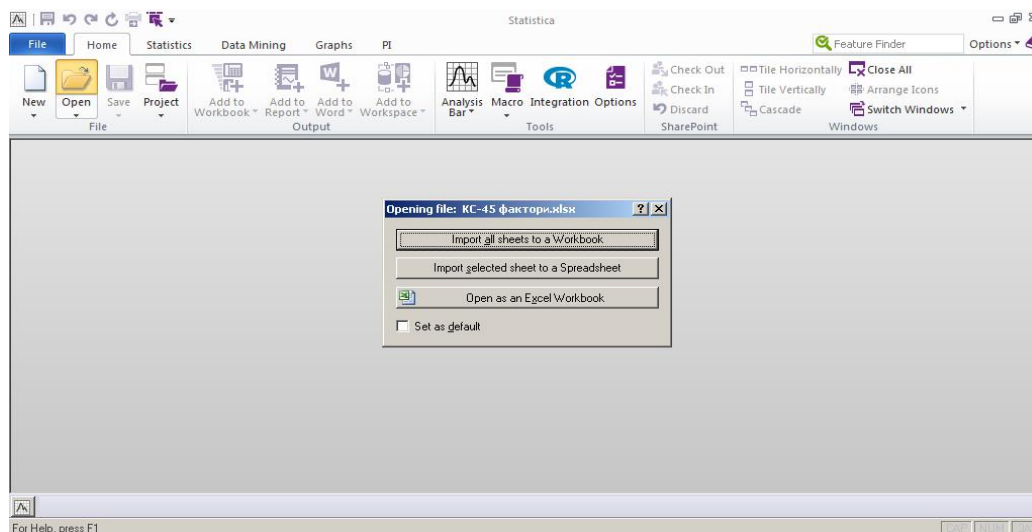


Рисунок А.1 – Завантаження бази даних

Початок аналізу вихідних даних за методом головних компонент.

В меню переходимо в підменю «Statistics» та обираємо «PLS, PCA».

У відображеному діалоговому вікні «Multivariate Statistical Process Control» (Рис. А.2) обираємо «Principal components analysis (PCA)» та натискаємо «OK».

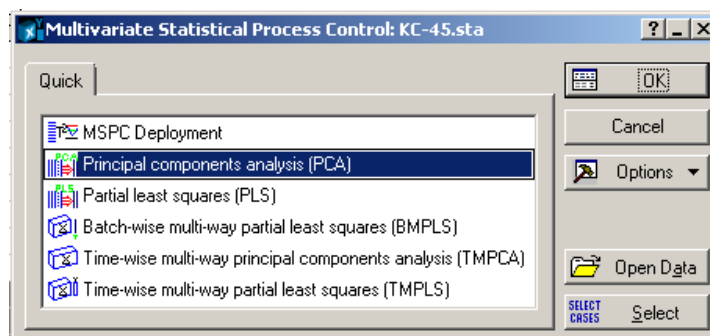


Рисунок А.2 – Діалогове вікно «Multivariate Statistical Process Control»

Щоб відкрити діалогове вікно вибору змінних необхідно натиснути «Variables:»(Рис. А.3).

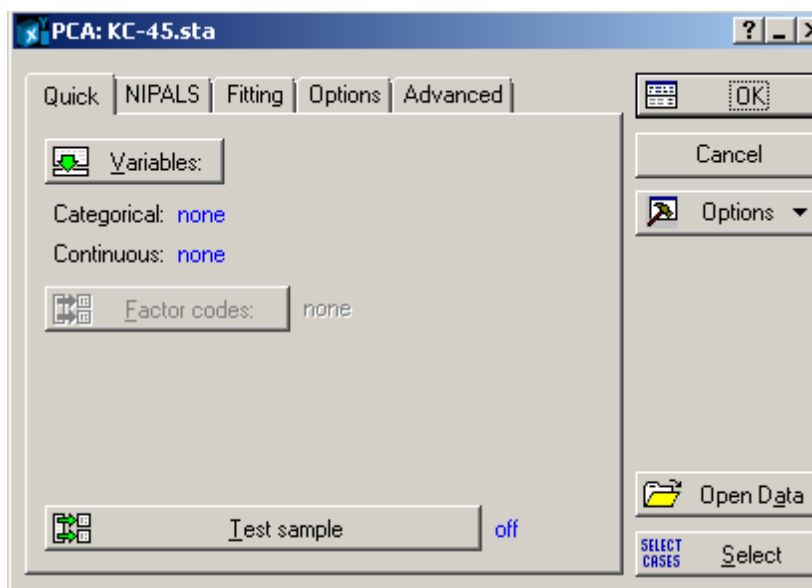


Рисунок А.3 – Діалогове вікно «РСА»

У діалоговому вікні вибору змінних (Рис. А.4) обираємо необхідні для виконання аналізу неперервні (метричні) змінні та натискаємо «ОК». Налаштування інших вкладок залишаємо автоматично встановленими, або вносимо відповідні зміни певних параметрів за необхідності.

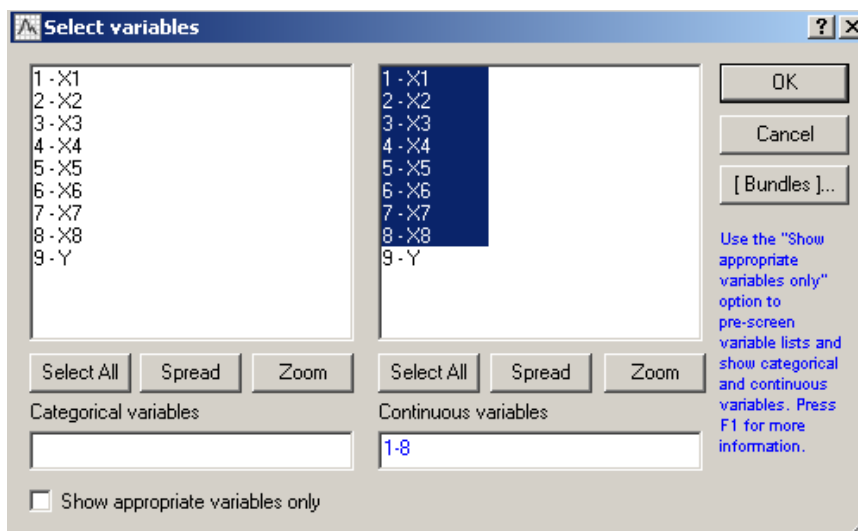


Рисунок А.4 – Діалогове вікно вибору змінних

Натисніть «OK» в діалоговому вікні «PCA», що зніціює виконання алгоритму розрахунку та відображення діалогового вікна результатів після виконання певного числа ітерацій (Рис. А.5). Діалогове вікно результатів МГК містить п'ять вкладок: «Quick», «Quality», «Plots», «Advanced» та «MD».

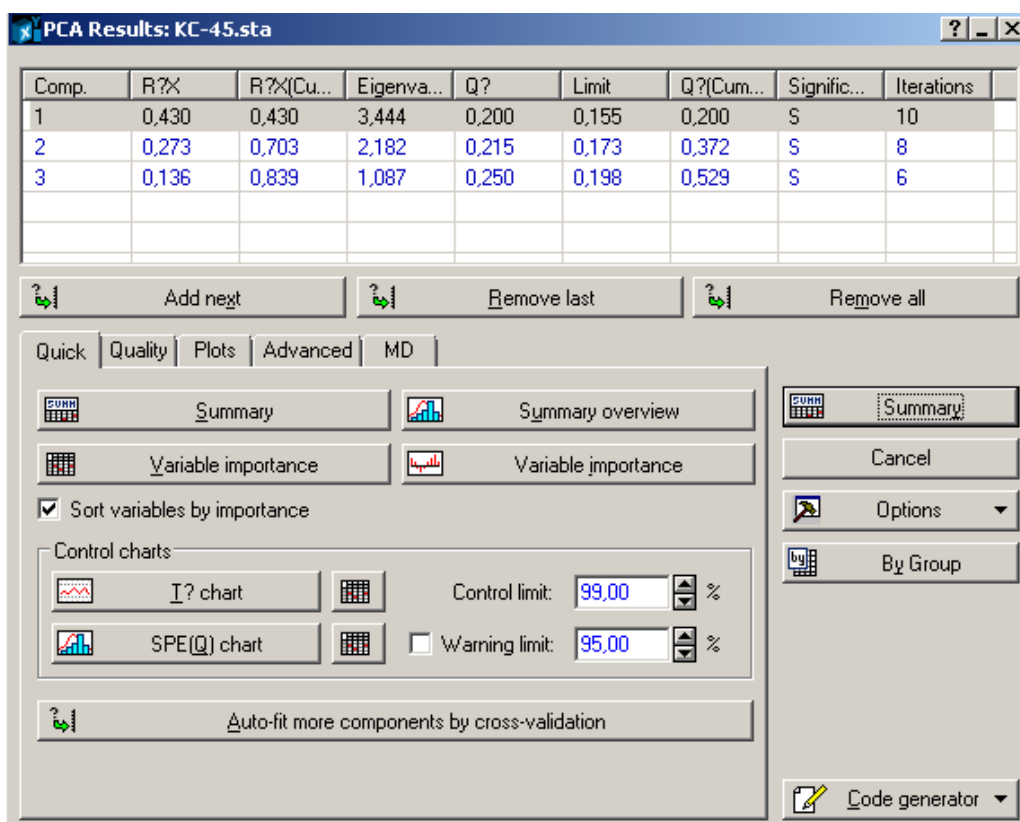


Рисунок А.5 – Діалогове вікно «PCA Results» вкладка «Quick»

Вікно «Summary» містить інформацію про моделі PC, а саме: «R<sup>2</sup>X», «Eigenvalues», «Q<sup>2</sup>», «Limit», «Significance», «Iterations». Цю інформацію можна відобразити в електронній таблиці (Рис. А.6) натиснувши кнопку «Summary».

Principal Components Analysis Summary (KC-45.sta)								
Number of components is 3								
83,9182% of sum of squares has been explained by all the extracted components.								
Component	R <sup>2</sup> X	R <sup>2</sup> X(Cumul.)	Eigenvalues	Q?	Limit	Q?(Cumul.)	Significance	Iterations
1	0,430485	0,430485	3,443883	0,199641	0,155172	0,199641	S	10
2	0,272802	0,703288	2,182418	0,215324	0,173469	0,371978	S	8
3	0,135895	0,839182	1,087158	0,249719	0,197531	0,528807	S	6

Рисунок А.6 – Вікно «Summary»

Для побудови гістограми кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$  (Рис. А.7) в діалоговому вікні «PCA Results» необхідно натиснути кнопку «Summary overview».

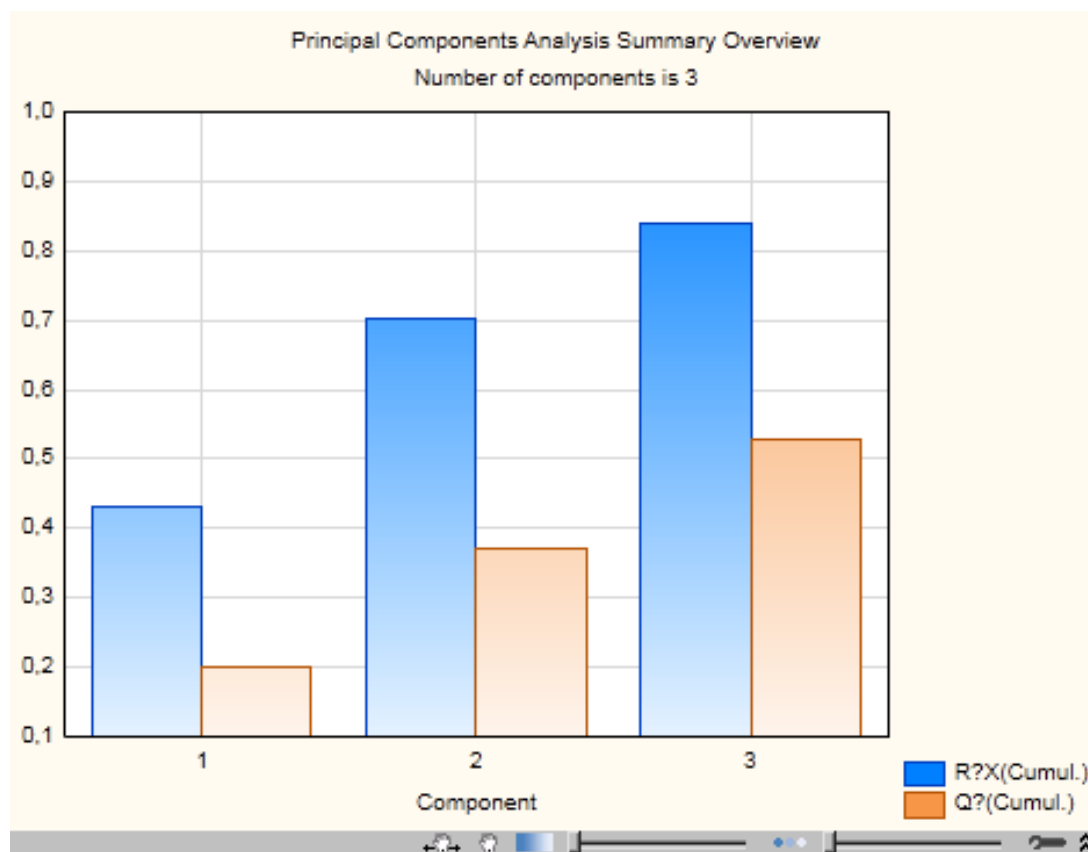


Рисунок А.7 – Гістограма кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$

Аналіз гістограми показує, що кумулятивний  $R^2X$  покращується, тобто прагне стати одиницею, оскільки все більше компонент додається до моделі РС.

Значущість («потужність») змінної, тобто вимірювання, на скільки змінна представлена в компоненті, має важливе значення в аналізі МГК. Тобто для моделі з оптимальною кількістю компонент, змінні, які мають низьке значення «потужності», недостатньо добре представлені та ймовірні бути незначними. Значущість змінних може бути представлена у табличному вигляді (Рис. А.8) або графічному (Рис. А.9). Для виведення результатів на екран необхідно в діалоговому вікні «PCA Results» обрати «Variable importance».

Variable importance (KC-45.sta) Number of components is 3			
Variable	Variable number	Power	Importance
X1	1	0,991398	1
X2	2	0,989774	2
X5	5	0,886696	3
X6	6	0,884656	4
X4	4	0,852820	5
X7	7	0,801743	6
X3	3	0,688562	7
X8	8	0,617811	8

Рисунок А.8 – Вікно «Variable importance»

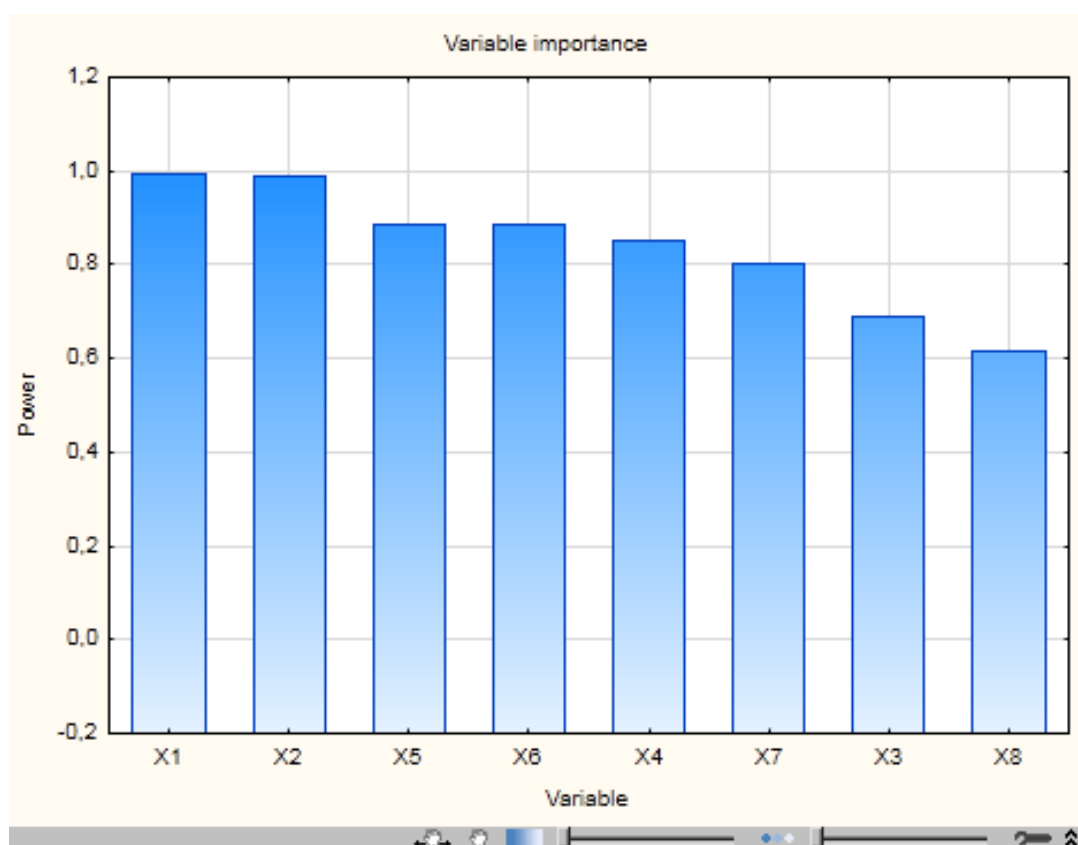


Рисунок А.9 – Вікно «Variable importance»

В діалоговому вікні «PCA Results» є можливість додавати або видаляти одну, або всі компоненти з моделі МГК, використавши для цього кнопки «Add next», «Remove last» та «Remove all». Ці опції надають можливість більш виконати більш

детальний аналіз. Функція додавання та видалення компонент може використовуватись для моніторингу змін важливості змінної зі збільшенням або зменшенням кількості головних компонент.

Модель РС надає можливість проаналізувати дані на випадковій основі, створивши контрольні діаграми, які можна використати для перегляду та виявлення викидів. З метою контролю якості, викиди можуть бути ознакою аномальних умов експлуатації, які можуть вплинути на якість кінцевого продукту. Для виявлення порівняно помірних викидів можна використати графік, представлений на рисунку А.10, натиснувши кнопку « $T^2$  Chart» на вкладці «Quick» діалогового вікна «PCA Results». В даному випадку графік нерівномірний, викиди відсутні (жодне значення не перетинає червону лінію).

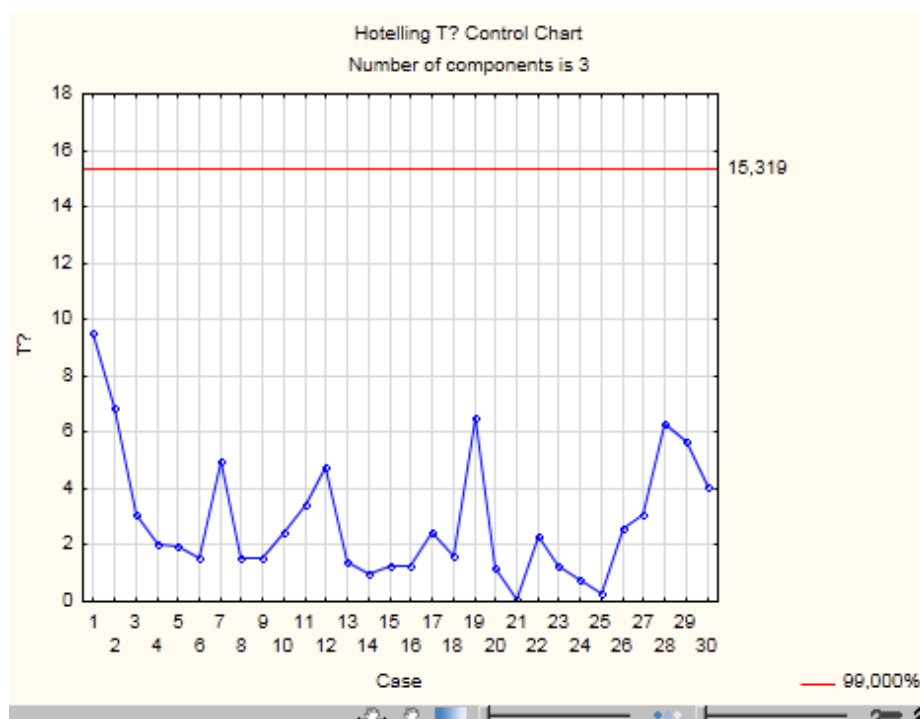


Рисунок А.10 - Графік « $T^2$  Chart»

Для аналізу викидів використовують діаграму «Відстань до моделі». Результат може бути представлено у вигляді таблиці, графіка, або гістограми. Для цього необхідно натиснути відповідну кнопку «D-To-Model» на вкладці «Advanced» (Рис.

A.11) діалогового вікна «PCA Results». Результати представлено на рисунках A.12 – A.13.

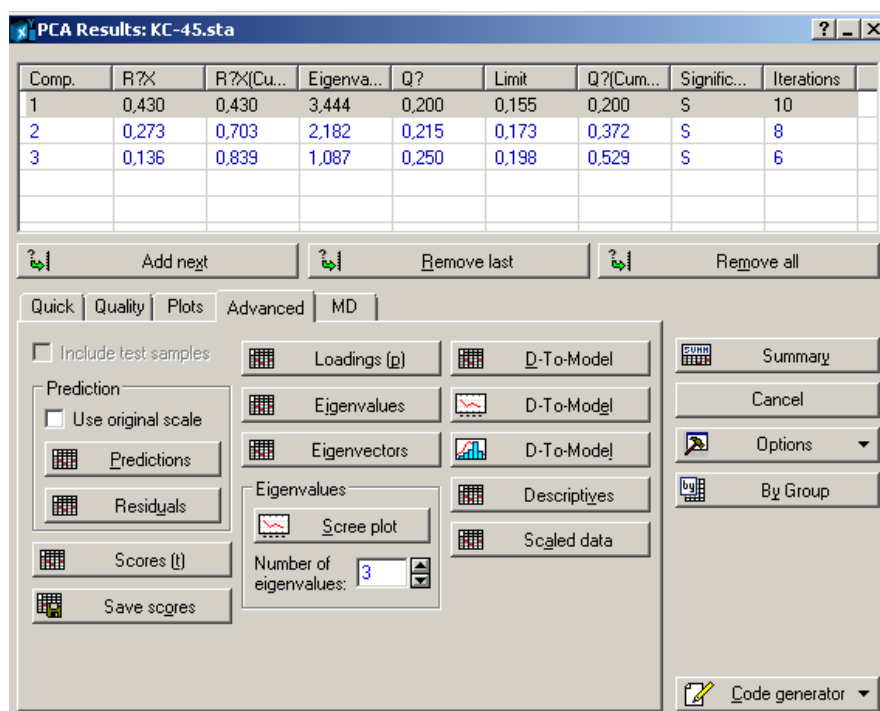


Рисунок A.11 – Діалогове вікно «PCA Results» вкладка «Advanced»

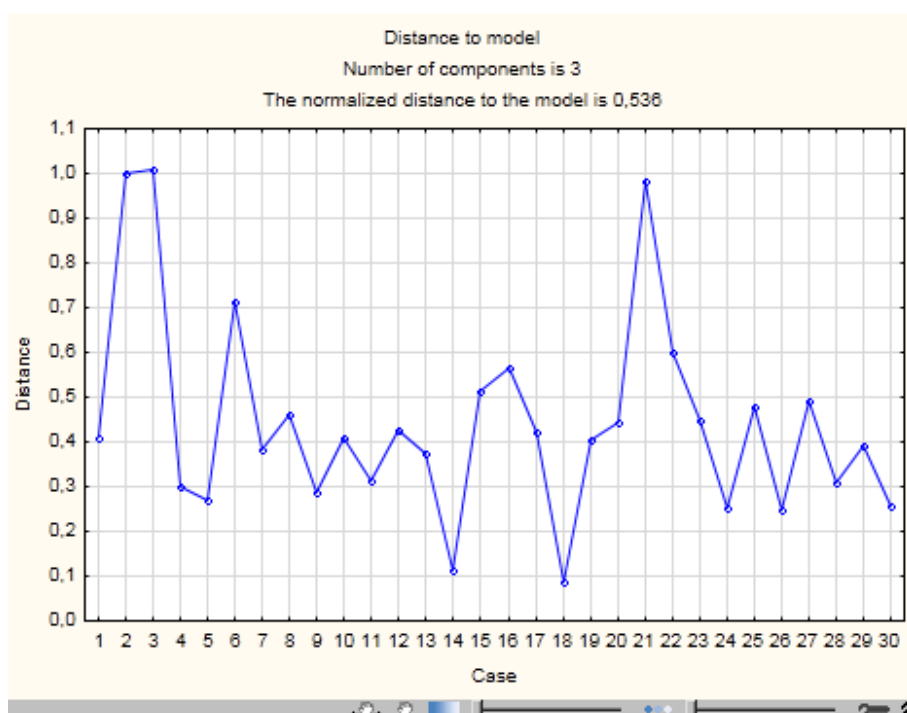


Рисунок A.12 – Графік «D-To-Model»

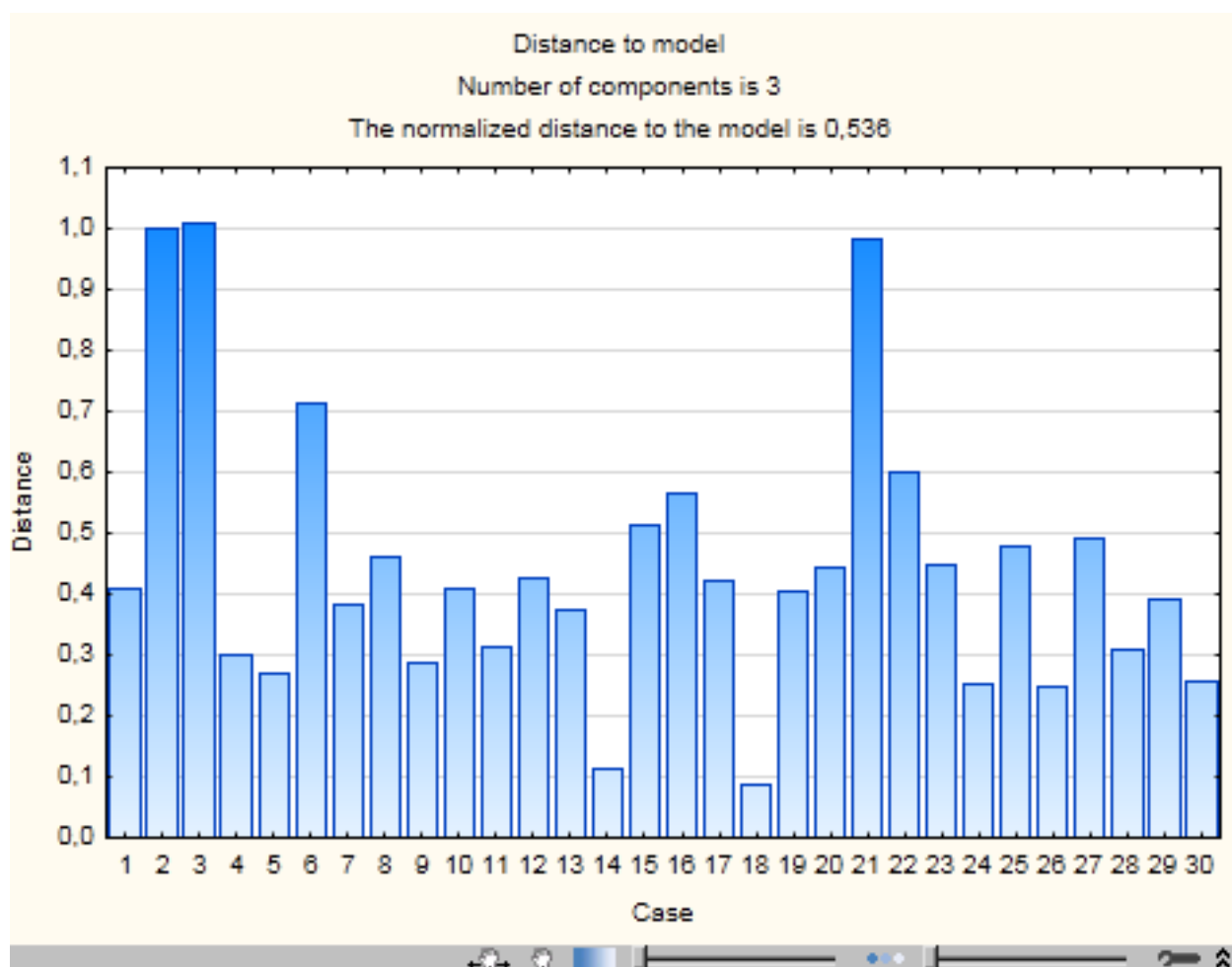


Рисунок А.13 – Гістограма «D-To-Model»

В результаті аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що розподіл відносно рівномірний з наявними викидами значень деяких спостережень.

Для більш детального аналізу викидів використовують діаграми розсіювання. Для побудови діаграми розсіювання потрібно в діалоговому вікні «PCA Results» перейти на вкладку «Plots» (Рис. А.14). В першому та другому списках компонент необхідно обрати компоненти, між якими необхідно побудувати діаграми розсіювання. В полі «Plot labels» необхідно поставити мітку «Var/case name» для відображення підпису точок. Виконаємо аналіз між компонентами PC1 та PC2.



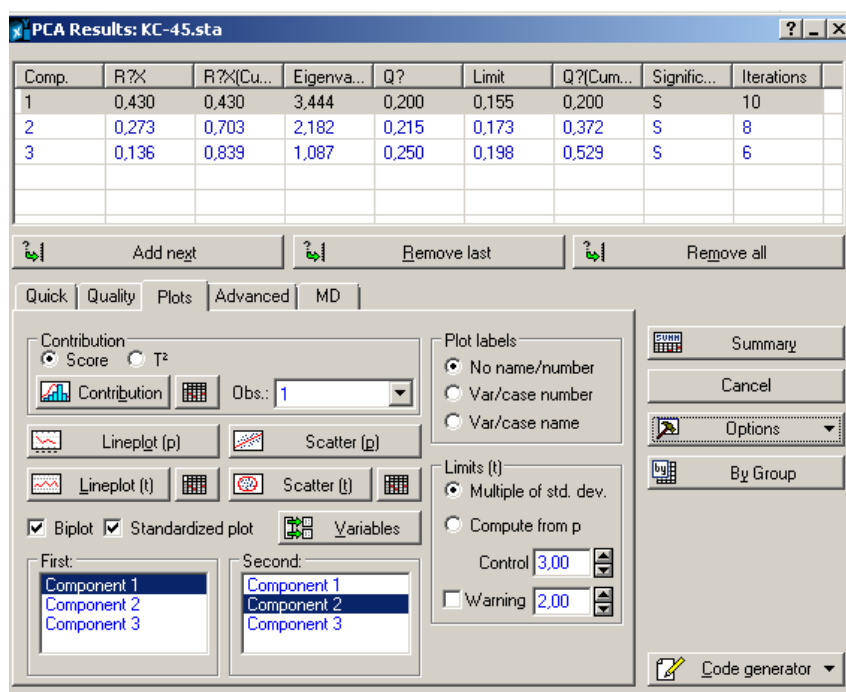


Рисунок А.14 – Діалогове вікно «PCA Results» вкладка «Plots»

Для створення діаграми розсіювання «PC1 – PC2» (Рис. А.15) необхідно натиснути кнопку «Scatter (t)». З діаграми видно, що точки (значення спостережень), які розташовані за межами поля синього кольору є викидами.

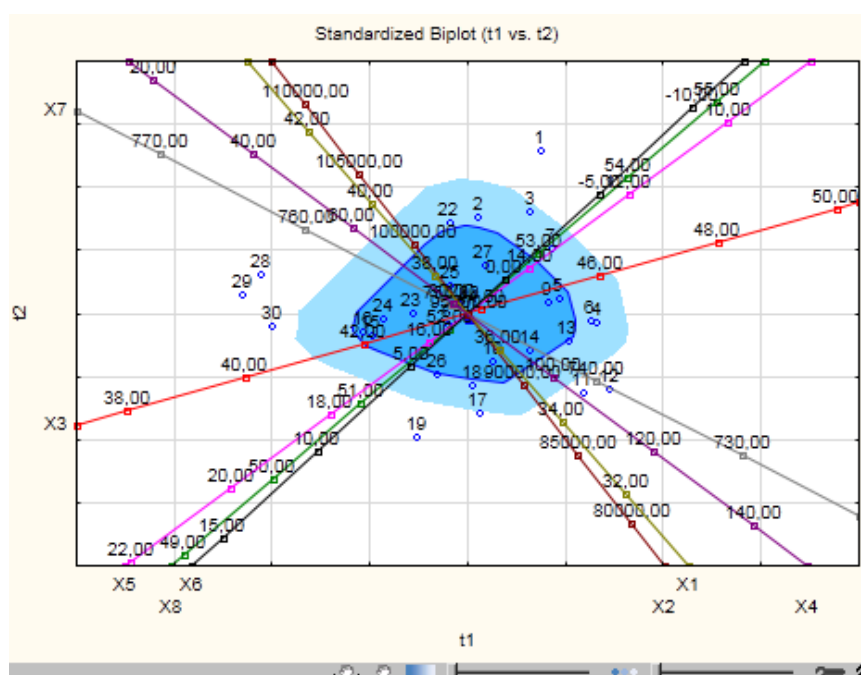


Рисунок А.15 – Діаграма розсіювання «PC1 – PC2»

Аналіз за методом головних компонент надає можливість проаналізувати взаємозв'язок між вихідними змінними, як вони корелюють одна з одною, їх вплив на визначення нової системи координат. На рисунку А.15 величина в центрі – це факторний  $X$  навантаження головної компоненти по відношенню до змінної, це косинус кута між напрямом цієї компоненти та віссю відповідної змінної. Це означає, що чим більший вплив змінної при визначенні компонент, тим більше вісь змінної була суміщена з цією компонентою. Також це можна побачити на графіку, представленим на рисунку А.16. Чим ближче точка до нуля, тим менший вплив має відповідний чинник. Для побудови даного графіку необхідно натиснути на кнопку «Lineplot (p)» на вкладці «Plots» діалогового вікна «PCA Results».

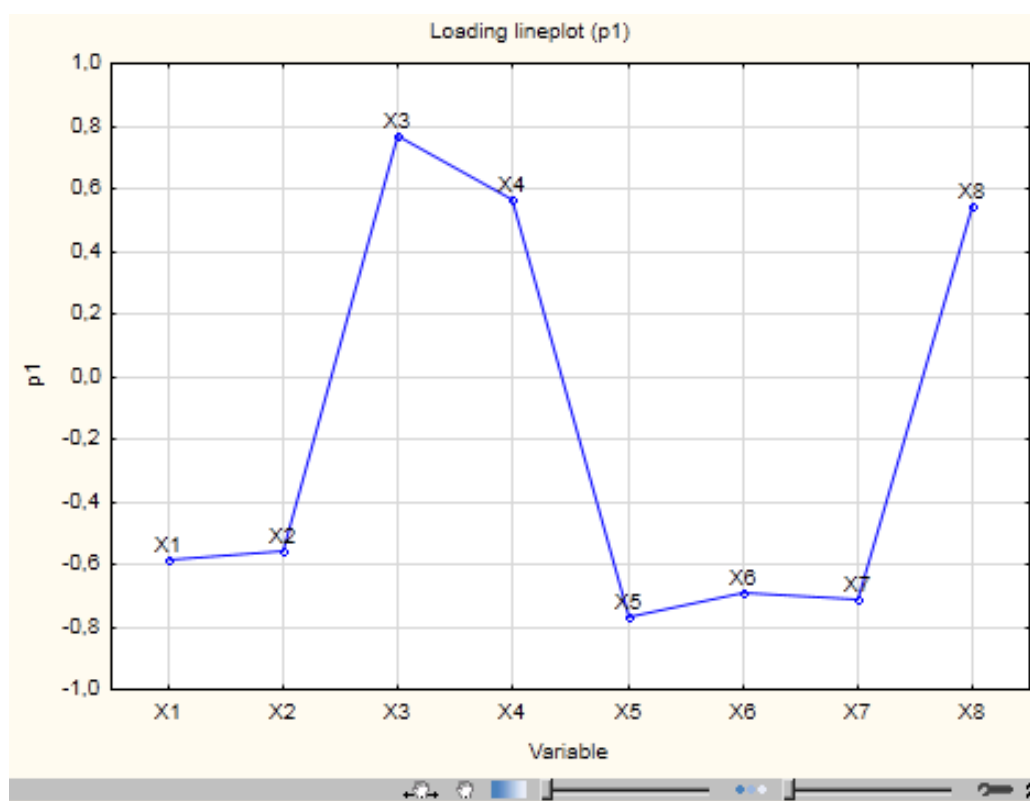


Рисунок А.16 - Графік «Lineplot (p)» «PC1 – PC2»

Діаграма розсіювання факторних навантажень між різними головними компонентами (Рис. А.17) надає можливість проаналізувати зв'язок між змінними та визначити найбільш значущі в моделі РС. Для побудови діаграми слід натиснути

кнопку «Scatter (p)» а вкладці «Plots» діалогового вікна «PCA Results». Змінні впливають на модель, якщо змінні розміщені близько одна до одної, тобто вони є корельованими. Важливе значення має відстань, на якій знаходиться точка від початку системи координат. Чим далі змінна знаходиться від початку системи координат, тим більш впливовою вона є при визначенні моделі РС.

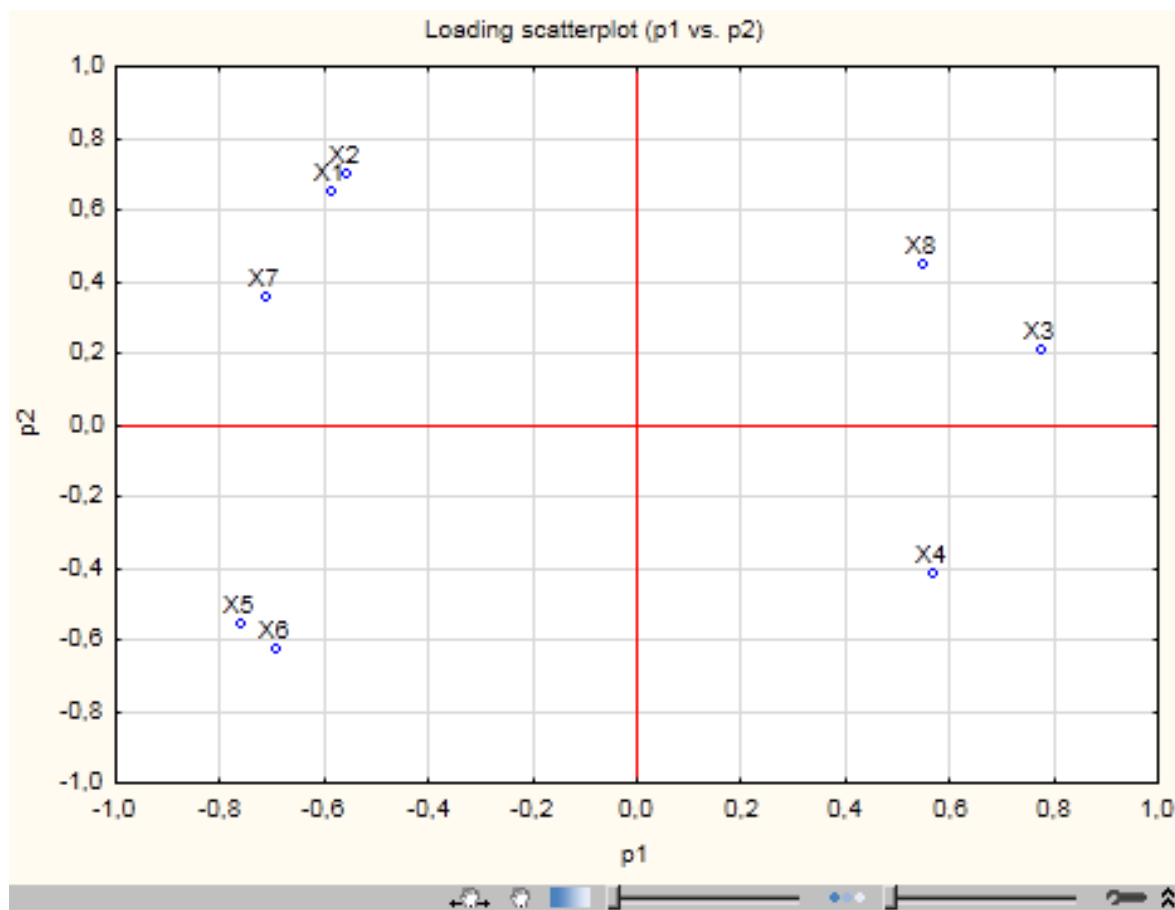


Рисунок А.17 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC1 – PC2»

За необхідності для виконання детального аналізу викидів варто розглянути всі можливі варіанти зв'язку між парами компонент, а саме: PC2 – PC1; PC1 – PC3; PC3 – PC1; PC2 – PC3; PC3 – PC2. На вкладці «Plots» діалогового вікна «PCA Results» виконуємо необхідні налаштування, послідовність дій аналогічна аналізу «PC1 - PC2». Результати представлено на рисунках А.18 - А.32.

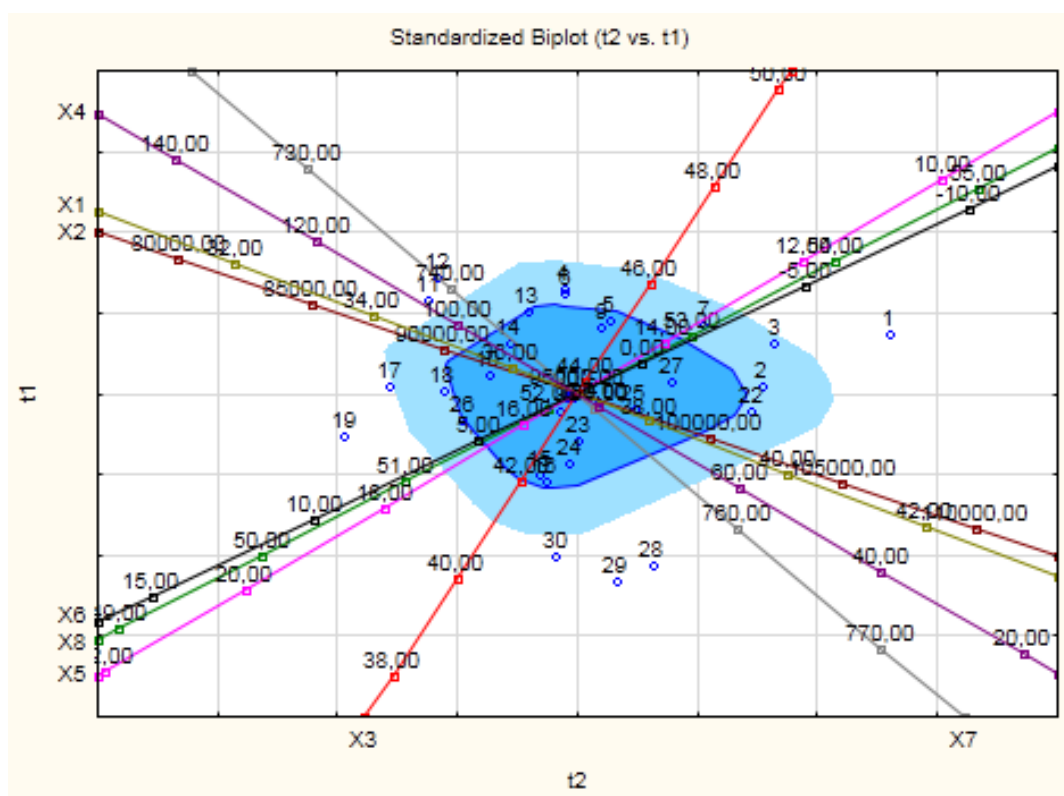


Рисунок А.18 – Діаграма розсіювання «PC2 – PC1»

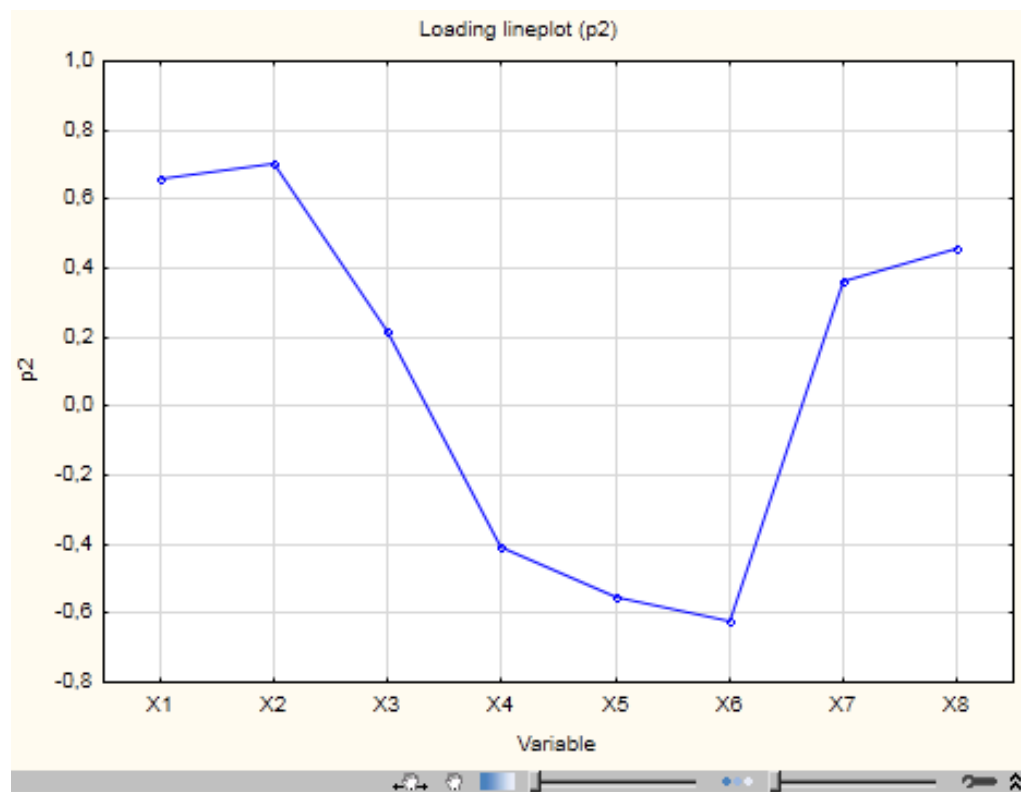


Рисунок А.19 - Графік «Lineplot (p)» «PC2 – PC1»

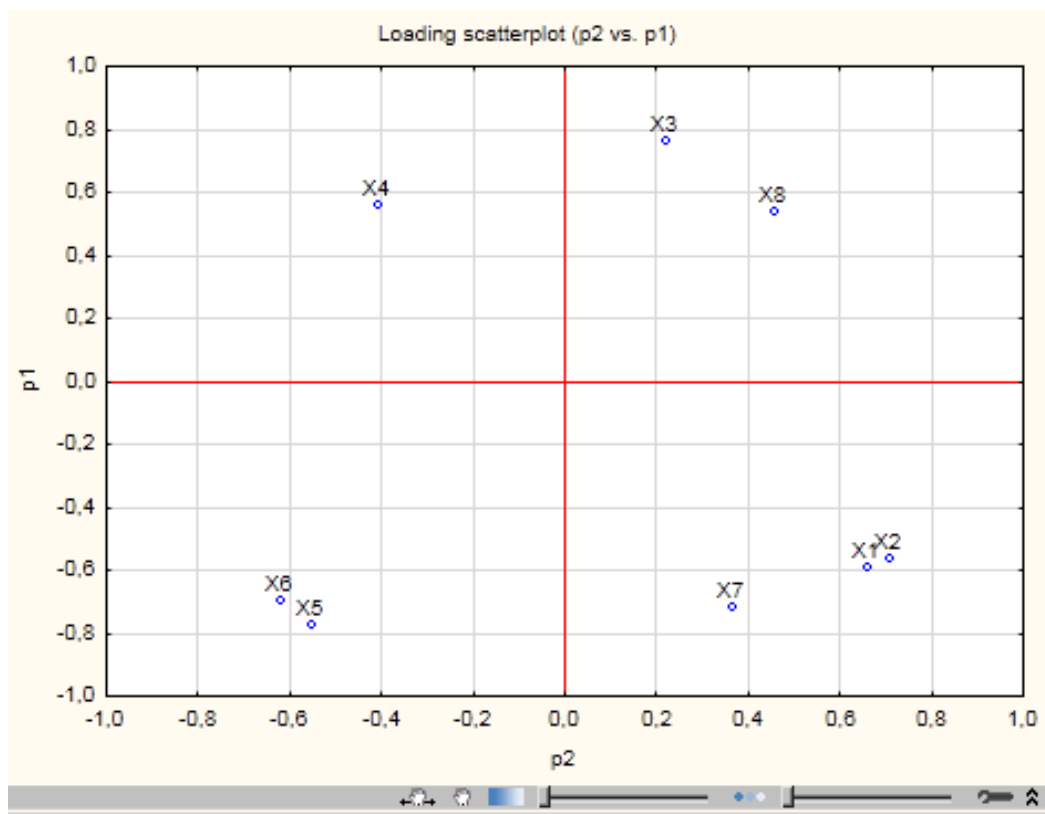


Рисунок А.20 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC2 – PC1»

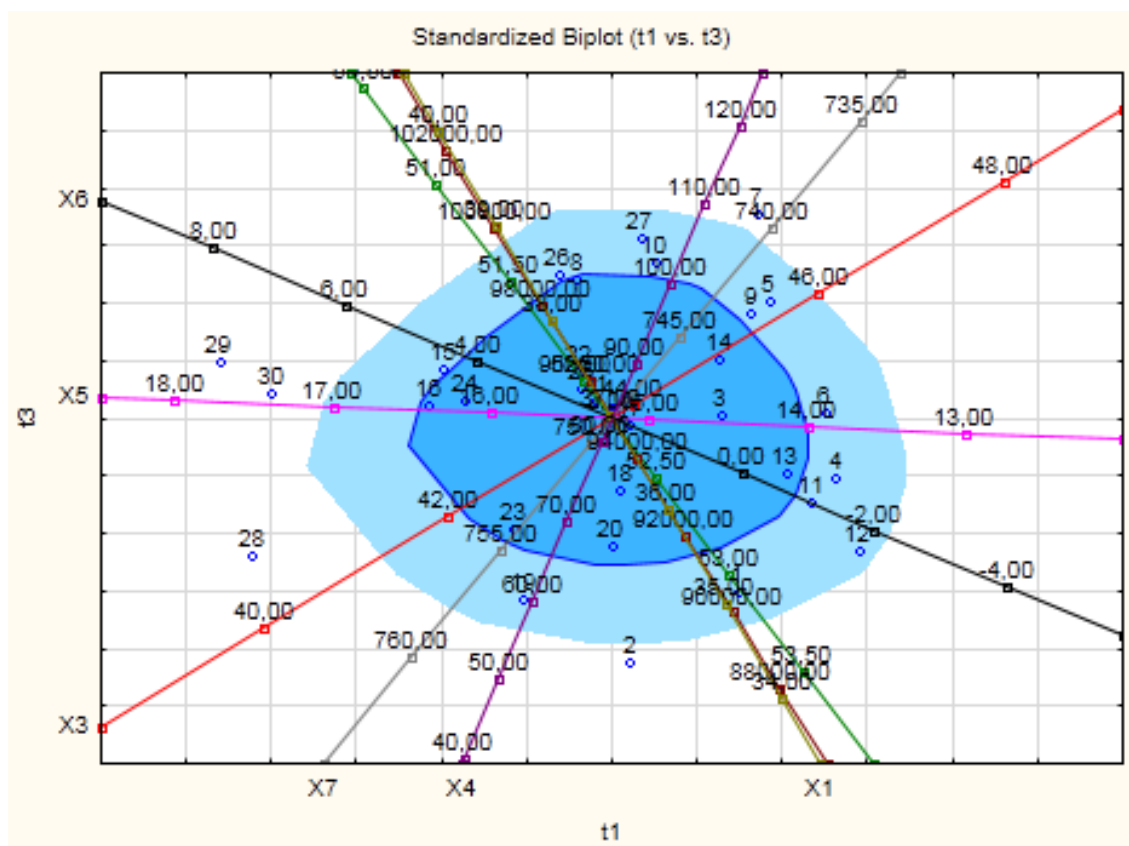


Рисунок А.21 – Діаграма розсіювання «PC1 – PC3»

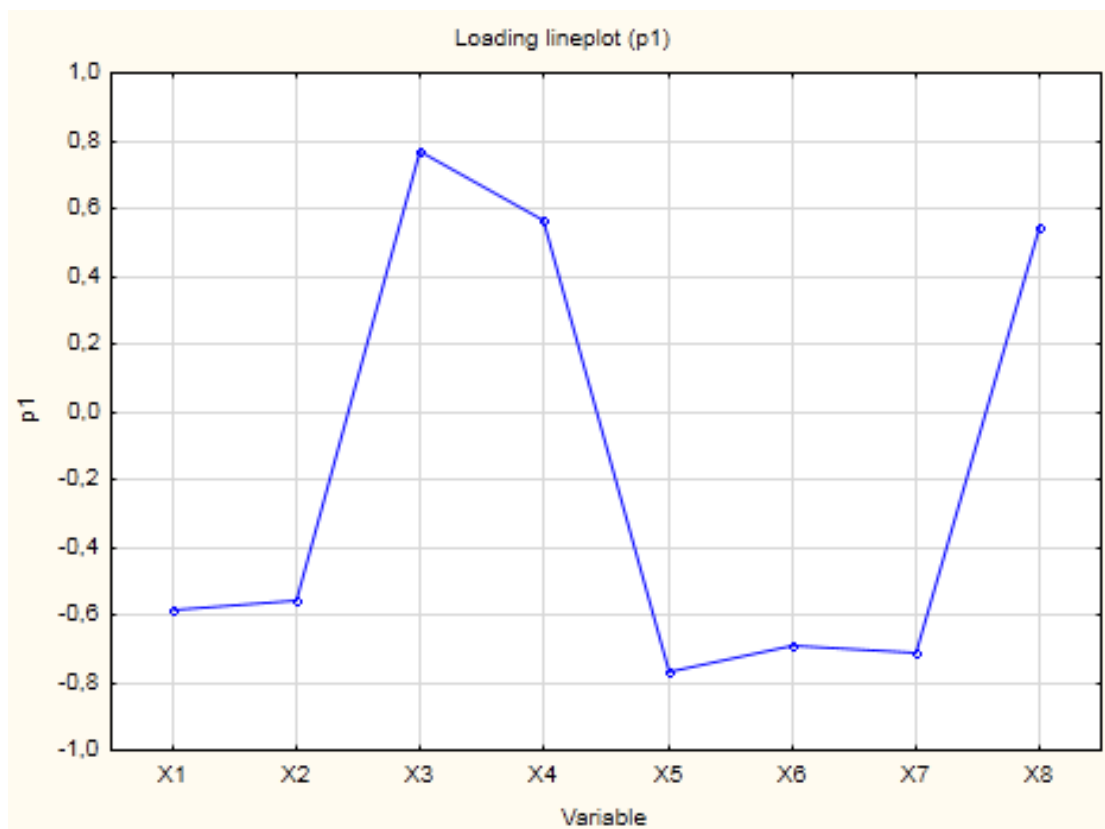


Рисунок А.22 - Графік «Lineplot (p)» «PC1 – PC3»

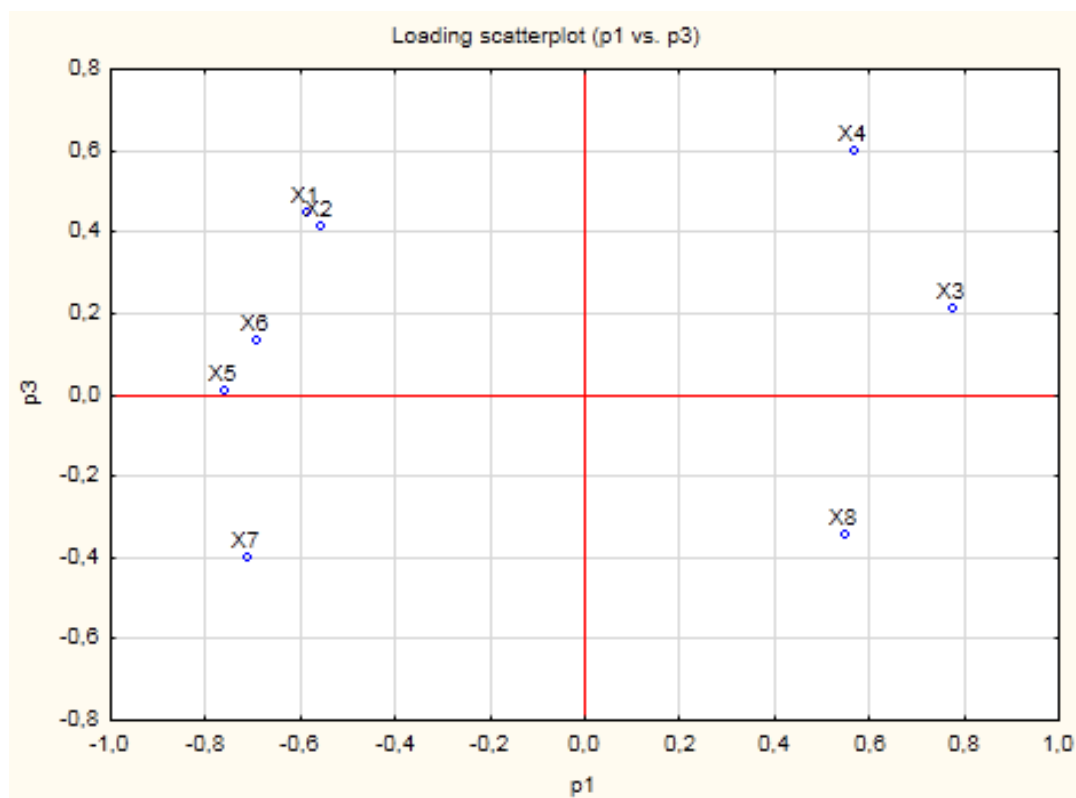


Рисунок А.23 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC1 – PC3»

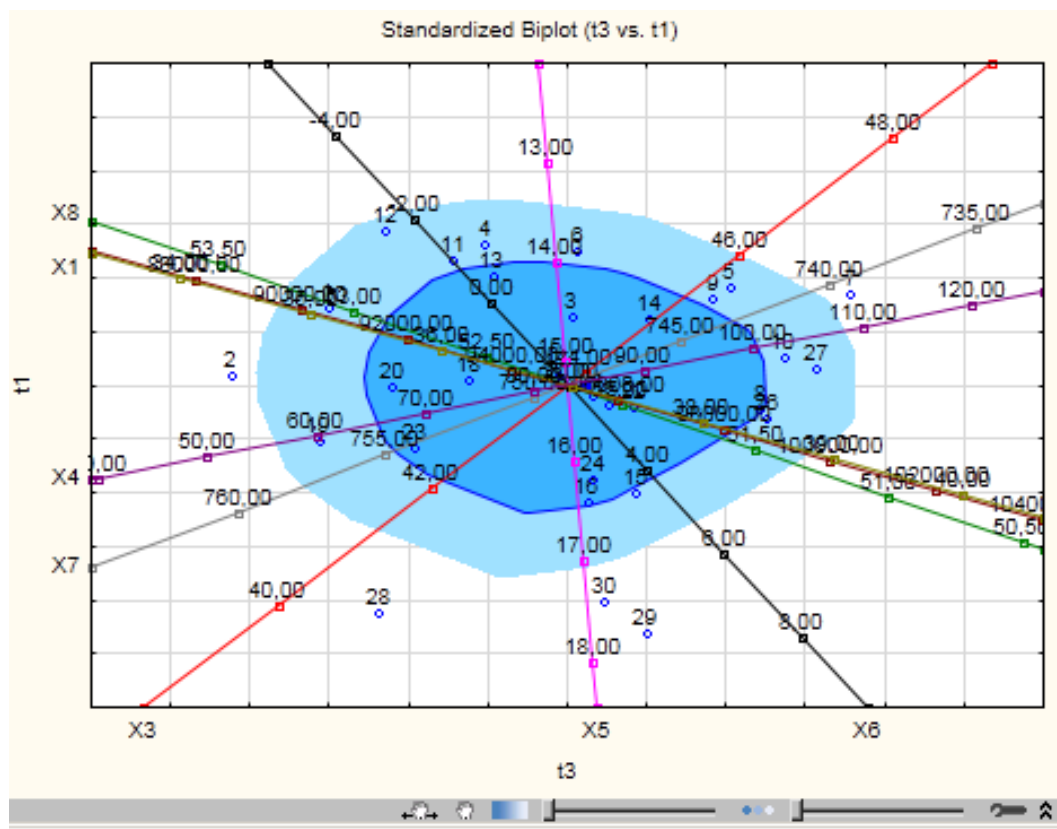


Рисунок А.24 – Діаграма розсіювання «PC3 – PC1»

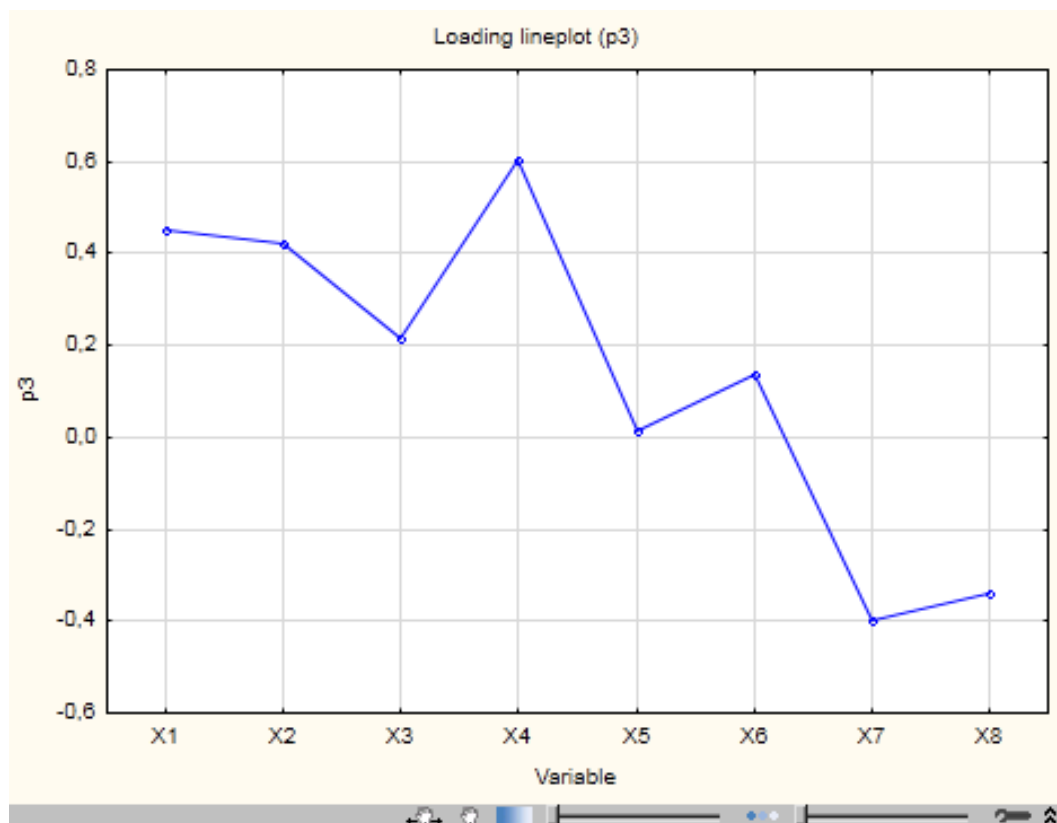


Рисунок А.25 - Графік «Lineplot (p)» «PC3 – PC1»

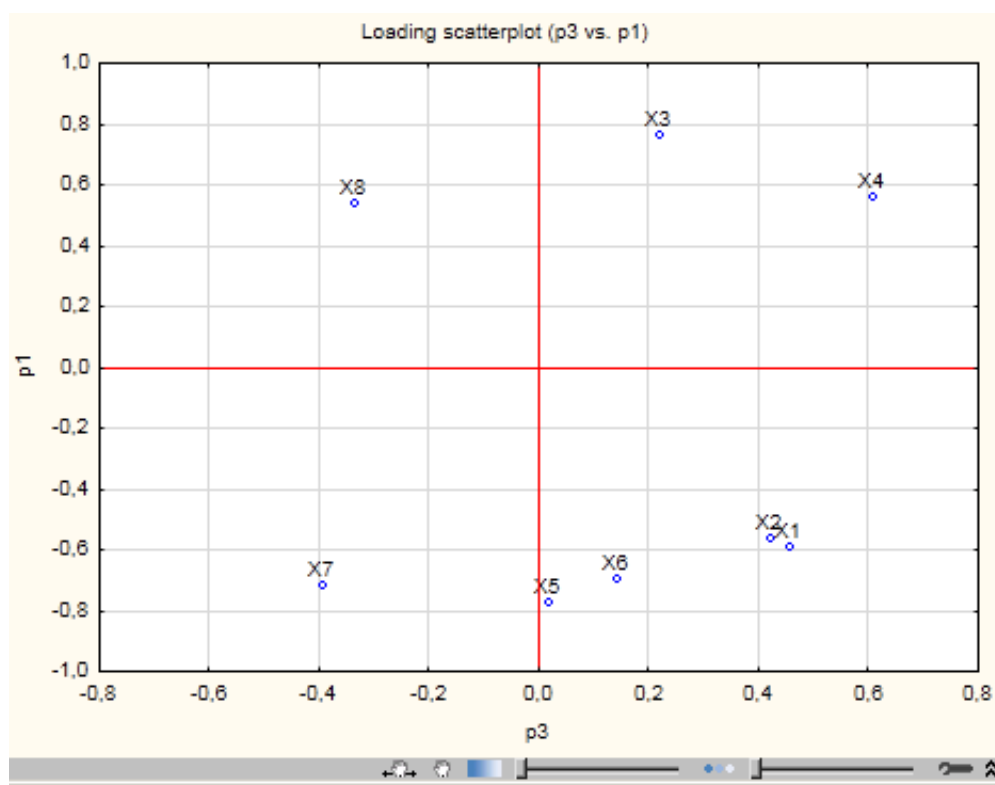


Рисунок А.26 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC3 – PC1»

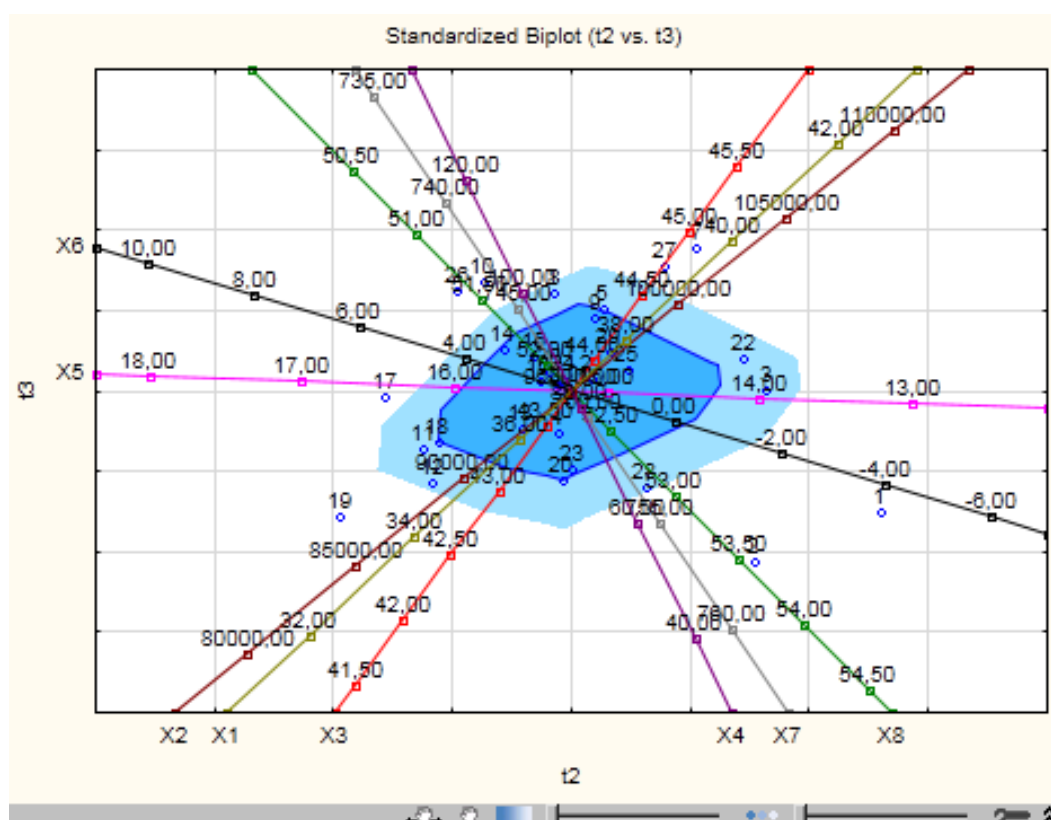


Рисунок А.27 – Діаграма розсіювання «PC2 – PC3»



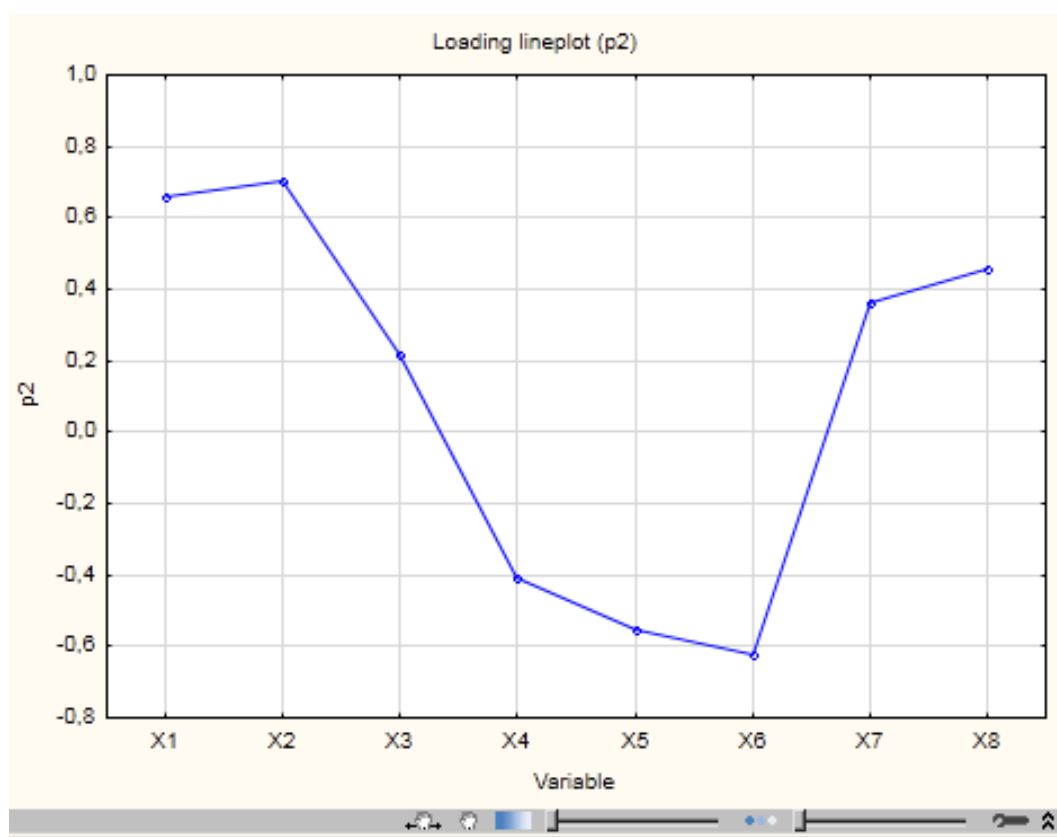


Рисунок А.28 - Графік «Lineplot (p)» «PC2 – PC3»

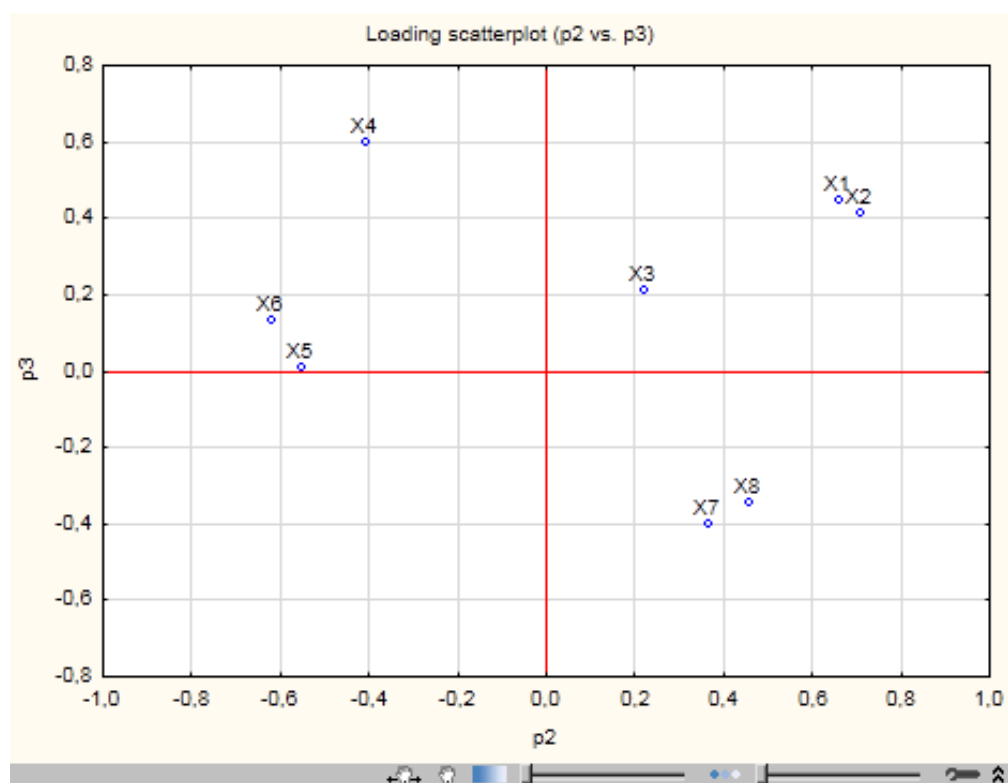


Рисунок А.29 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC2 – PC3»

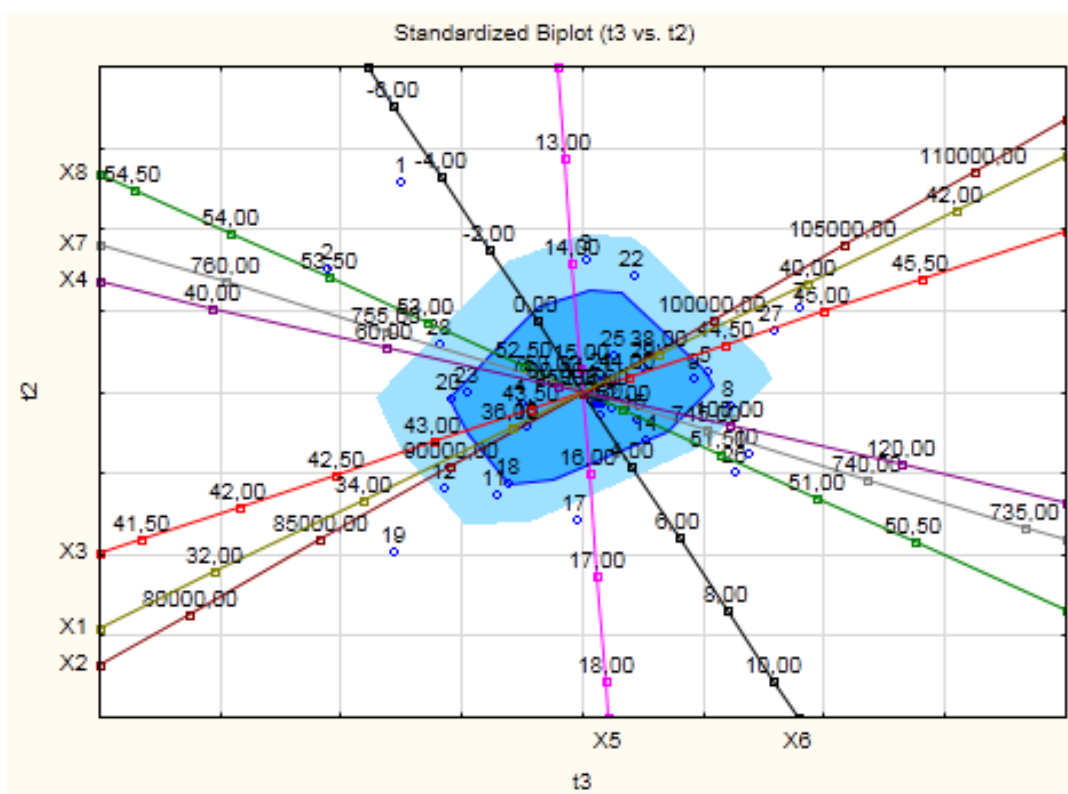


Рисунок А.30 – Діаграма розсіювання «PC3 – PC2»

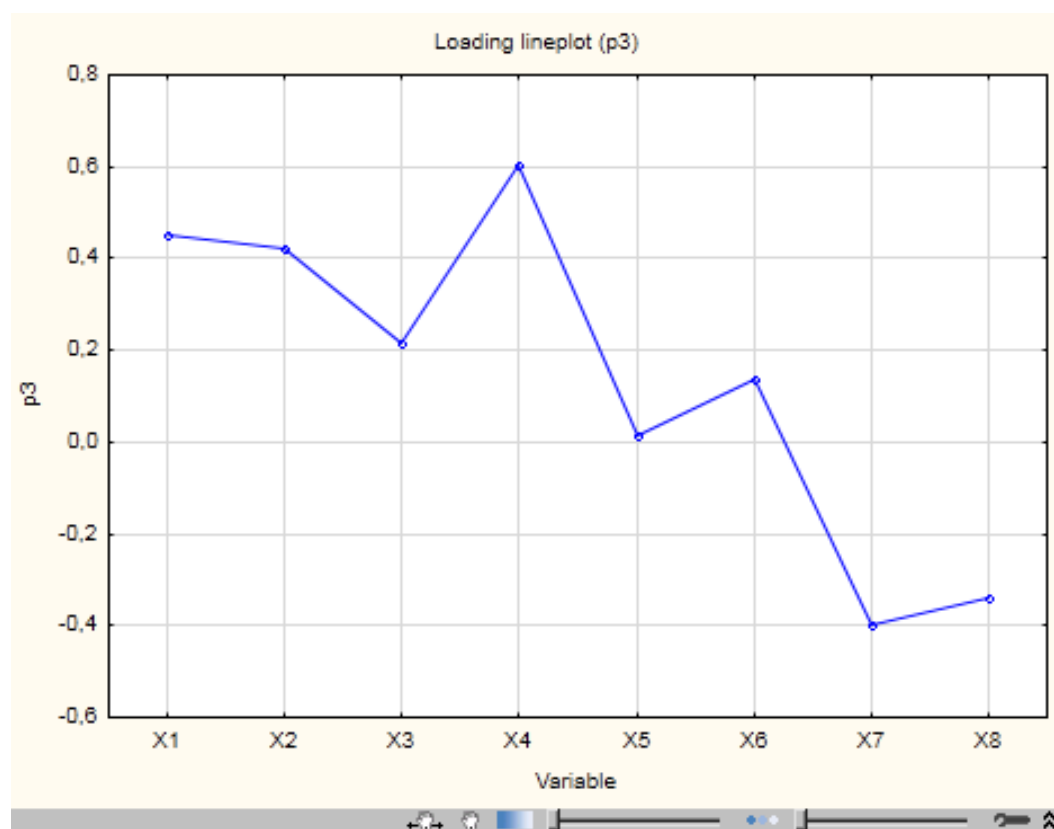


Рисунок А.31 - Графік «Lineplot (p)» «PC3 – PC2»

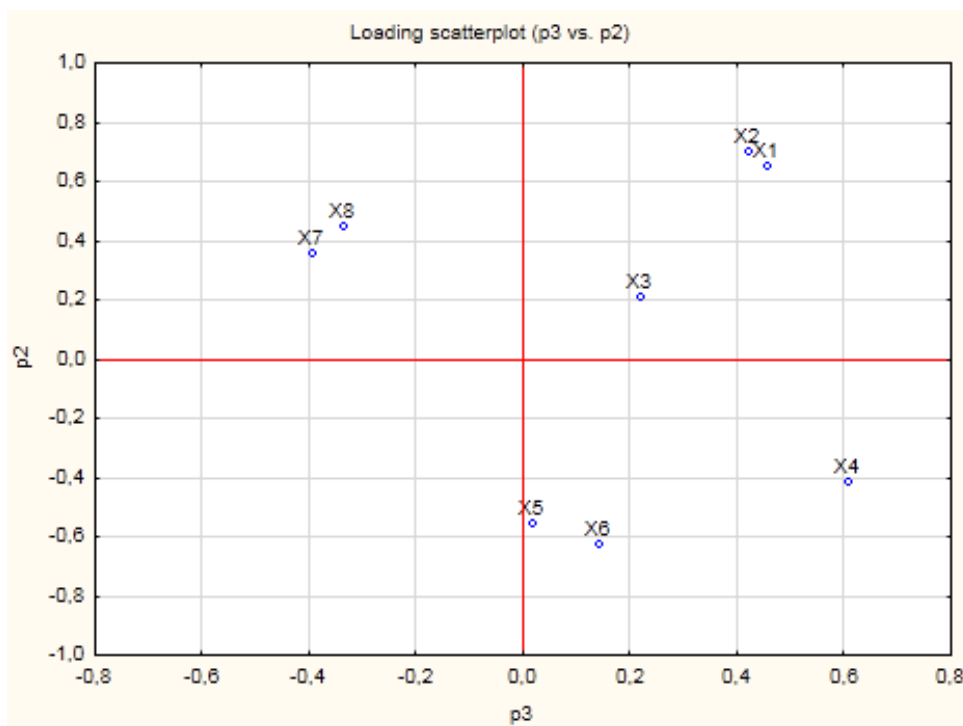


Рисунок А.32 - Діаграма розсіювання факторних навантажень «PC3 – PC2»

Метою методу головних компонент є моделювання багатомірного масиву даних за допомогою нової системи координат, яка називається головними компонентами та є меншою за розмірністю, ніж вихідна. Це означає, що з врахуванням достатньої кількості головних компонент можна спрогнозувати вихідний масив даних з певним ступенем точності, який покращується з додаванням в модель більшої кількості компонент. Однак, оскільки метою є моделювання вихідних даних в меншій розмірності, завжди існує різниця (залишки) між вихідними значеннями спостережень та спрогнозованими моделлю РС. Для виведення на екран таблиці залишків (Рис.А.33) слід натиснути кнопку «Residuals» вкладки «Advanced» діалогового вікна «PCA Results».

Однією з фундаментальних величин МГК є власні значення головних компонент, з яких можна отримати майже всі властивості моделі. Для того, щоб представити лінійний графік значень головних компонент (Рис. А.34), спочатку потрібно задати кількість компонент, які потрібно зобразити, відрегулювавши значення параметра «Number of eigenvalues» на вкладці «Advanced» (максимальна

кількість компонент, яку може мати модель, це кількість змінних, менша на одиницю) та натиснути кнопку «Scree plot».

Statistica - [Документ Microsoft Office Word (3).docx\* - Principal components analysis residuals, scaled data (KC-45.sta)]

File Home Edit View Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook PI Feature Finder Options

Clipboard/Data: Cut, Copy, Paste, Select All, Clear, Format, Move, Screen Catcher

Find/Replace: Find, Replace, Repeat, Go To

Standardize: Random Values, Copy Down, Copy Right, Fill

Variables: Variables, Cases, Variables, Cases, Insert, OLE Object, Links

Principal components analysis residuals, scaled data (KC-45.sta)  
Number of components is 3

Case	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	0,000167	-0,064037	-0,67896	0,29374	-0,279279	-0,384502	0,051761	-0,22044
2	0,034596	0,006600	1,22386	-1,48344	0,077331	0,415754	-0,854599	-0,63555
3	-0,125009	-0,114147	-1,25223	-0,02179	-0,910667	-0,962479	-0,254226	-1,28849
4	-0,033235	-0,035526	-0,22858	0,42504	0,068836	-0,295235	0,351922	-0,00648
5	-0,070818	-0,048227	0,18165	-0,12961	-0,043523	-0,239257	0,098034	-0,48544
6	0,224385	0,094701	0,22069	0,11754	0,724868	0,494309	-0,218382	1,26261
7	0,163110	0,049388	-0,10105	-0,22731	0,328226	0,099105	-0,533676	0,49161
8	0,015338	-0,124870	-0,46834	-0,14446	-0,430000	-0,398552	-0,188479	-0,65463
9	-0,043115	-0,108066	0,30266	-0,03167	-0,161390	-0,037665	0,301553	-0,43187
10	0,041156	-0,108999	-0,20836	-0,37414	-0,404953	-0,163881	-0,325143	-0,58647
11	0,141779	-0,003320	-0,35510	0,16580	0,051282	0,145685	-0,169293	0,51586
12	-0,121283	0,056610	0,55901	0,29814	0,307397	0,136441	0,578674	0,18918
13	-0,033826	0,055393	0,57750	0,06828	0,389081	0,218130	0,269074	0,30677
14	-0,040814	-0,009597	0,17495	-0,00118	-0,011770	0,015857	0,139233	-0,11427
15	0,022519	-0,012217	-0,70853	-0,25732	-0,398820	-0,332495	-0,544777	-0,41368
16	0,081150	0,212587	-0,06489	-0,53793	0,280209	0,288907	-0,890644	0,54716
17	-0,002036	-0,051621	-0,13102	-0,45320	-0,239302	-0,277468	-0,401456	-0,61420
18	0,073404	0,076504	0,05004	0,40414	0,000000	0,000000	0,000000	0,00000

Standardized Biplot (t3 vs. t2) | Principal components analysis predictions, scaled data (KC-45...) | Principal components analysis residuals, scaled data (KC-45.sta)

PCA Results: KC-45.sta

Рисунок А.33 - Таблиця залишків

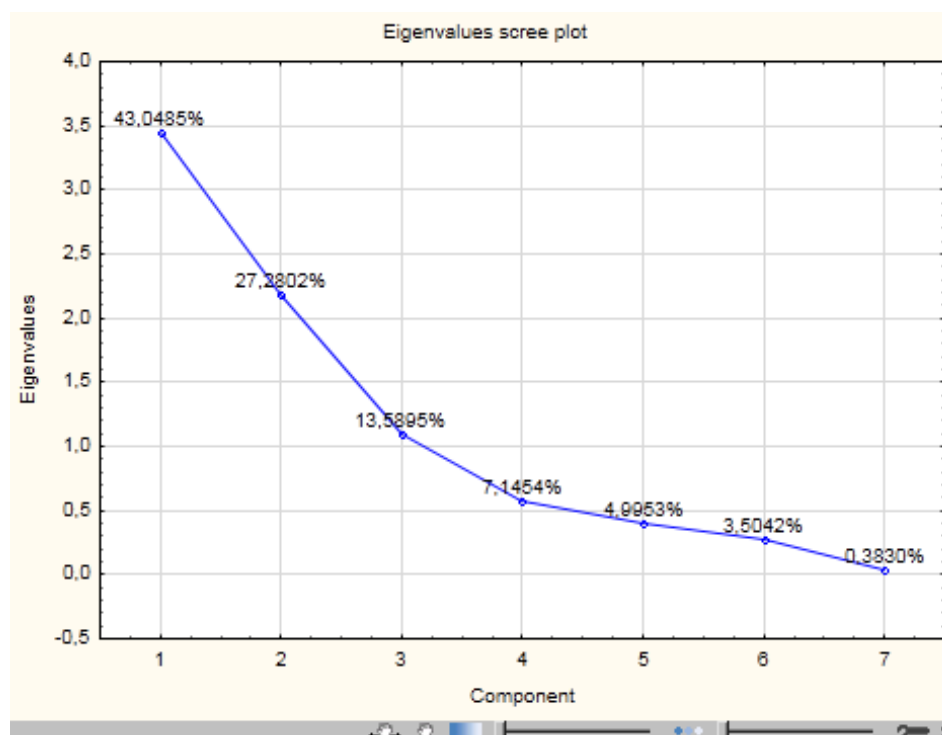


Рисунок А.34 - Лінійний графік значень головних компонент

З графіка видно, що значення першої головної компоненти охоплює 43,05% змінності даних. Однак ця тенденція зменшується з мірою додавання додаткових компонент до моделі.

**ДОДАТОК Б**